

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques

Département des Sciences Agronomiques



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master
Option : science du sol

THEME

Suivi à court terme de l'évolution du pH, de la conductivité électrique et du taux de calcaire d'un sol sous culture de tomate industrielle irriguée par des eaux usées épurées.

Présenté par

 MEDJAHED Nora

 ZEROUROU Dalila

Soutenu devant un jury composé de

❖ M ^{me} OMOURI O.	MAA	UMMTO	Présidente
❖ M ^{me} TIBICHE G.	Doctorante	UMMTO	Examinatrice
❖ M ^{me} OMARI O.	MAA	UMMTO	Promotrice
❖ M ^{lle} ISSAOUN D.	Doctorante	UMMTO	CO-Promotrice

Années 2020-2021

Remerciement

Avant tout on tient nos remerciements au dieu tout puissant de nous avoir donné la force, la patience et le courage.

A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement notre promotrice Mme OMARI O. Maître assistant chargée de cours à l'UMMTO et à notre Co-promotrice M^{elle} ISSAOUAN D. doctorante à l'UMMTO d'avoir acceptés de diriger ce mémoire et qui nous ont guidés avec leurs conseils durant l'élaboration de ce mémoire.

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à :
La président Mme OUMOURI O. Maître assistant chargée de cours à
l'UMMTO*

L'examinatrice Mme TIBICHE G. doctorante à Ouargla d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre cycle universitaire.

*Nous tenons à remercier les membres du laboratoire de pédologie de
l'UMMTO.*

*Nos remerciements également l'ensemble du personnel de « ONA de
Boghni ».*

*A toutes personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation
du présent travail*



DÉDICACES

A L'HOMME DE MA VIE, MON EXEMPLE ÉTERNEL, MON SOUTIEN MORAL ET SOURCE DE JOIE ET DE BONHEUR, CELUI QUI S'EST TOUJOURS SACRIFIÉ POUR ME VOIR RÉUSSIR ET MALHEUREUSEMENT QUI NOUS A QUITTÉ VOILÀ 7 MOIS QUE LE BON DIEU L'ACCUEIL EN SON VASTE PARADIS ...À MON CHER PÈRE QUE J'AIME.

A MA MÈRE, QUI M'A TOUJOURS ENCOURAGÉE, CONSEILLÉE ET SOUTENUE DANS MON TRAVAIL ET QUI M'A ENCOURAGÉ À ALLER DE L'AVANT ET QU'ELLE M'A DONNÉE TOUT SON AMOUR

A MON MARI B. IDIR QUI M'AS ENCOURAGÉ.

A MES CHERS FRÈRES : FARID, HAMEL ET HAKIM.

A MES CHÈRES SŒURS : HAMIDA, SAFIA ET ROSA.

A TOUTE MA FAMILLE, MA BELLE-FAMILLE ET MES AMIS.

A DALILA AVEC LAQUELLE J'AI PARTAGÉ CE TRAVAIL.

A TOUTE LA PROMOTION SCIENCE DU SOL 2020/2021.

NORA



Dédicaces

Dieu merci

Je dédie ce modeste travail

*A mes très chers parents au quels je dois
tous les bonheurs du monde*

A mes chers frères

*A toute ma famille ZEROUOU et à mon
fiancé et ça famille*

*A mes amis et à tous ceux qui m'ont aidé et
encouragé*

*A Nora avec le quelle j'ai partagé ce
travail*

*A tous ceux qui ont contribué à réalisation
de ce modeste travail*

*A toute la promotion de la science du sol
2020/2021.*

DALILA

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I. Synthèse bibliographique	
I. Généralités sur les eaux usées	3
1 Définition des eaux usées	3
2 Nature et origine des eaux usées	3
2.1. Eaux usées d'origine industrielle(EUI)	3
2.2. Eaux usées d'origine pluviale	3
2.3. Eaux usées d'origine agricole (EUA)	4
2.4. Eaux usées d'origine domestique(EUD)	4
3. Caractéristiques Physico-chimiques et microbiologiques ses eaux usées	5
3.1. Paramètres physico-chimiques	5
3.1.1. Température	5
3.1.2 Matières en suspension.....	5
3.1.3. Conductivité	6
3.1.4. Débit	6
3.1.5. Potentiel d'hydrogène	6
3.1.6. Demande biochimique en oxygène	6
3.1.7. Demande chimique en oxygène	7
3.1.8. Oxygène dissous.....	7
3.1.9. Métaux lourds.....	7
3.1.10. Nutriments	8
3.2. Paramètres microbiologiques	8
3.2.1. Microorganismes	8
3.2.2. Matières en suspension et matière organique.....	8
3.2.2.1. Matières en suspension.....	8
3.2.2.2. Matière organique.....	8
3.2.3. Éléments Traces	8
3.2.3.1. Métaux Lourds	9
3.2.3.2. Micropolluants d'origine organique.....	9
3.2.4. Substances nutritives	9
4. Effets des eaux usées.....	10

4.1. Effets sur l'environnement	10
4.2. Effets sur la santé humaine.....	11
5. Nécessité de l'épuration.....	11
6 Normes de rejet des eaux usées.....	11
6.1 Normes de l'OMS	12
6.2. Normes Algériennes.....	12
II. Traitement des eaux usées et leur réutilisation en agriculture	12
Traitement des eaux usées.....	12
1. Définition d'une station d'épuration	12
2. Objectif de traitement des eaux usées	13
3. Les étapes de traitement des eaux usées	13
3.1. Le prétraitement	13
3.1.1. Dégrillage	13
3.1.2. Dessablage.....	14
3.1.3. Dégraissage – déshuilage	14
3.2. Le traitement primaire	14
3.2.1. Décantation.....	15
3.2.2. Coagulant- Flocculant	15
3.2.3 Flottation	15
3.3. Traitements biologiques : traitements secondaires.....	15
3.3.1. Lagunage naturel	15
3.3.2. Boues activées	16
3.3.4. Bio filtres et filtres bactériens	16
3.4. Traitement tertiaire.....	17
3.4.1. Traitement bactériologique par rayonnement UV	17
3.4.2. Traitement par voie physico-chimique.....	17
3.4.3. Traitement des odeurs	18
4. Réutilisation des eaux usées en agriculture.....	18
III. Généralité sur la variété de tomate	18
1. Origine et historique.....	18
2. Importance de la tomate	19

2.1. Importance économique	19
2.1.1. Dans le monde	19
2.1.2. En Algérie	20
2.1.3. Dans la wilaya de Tizi-Ouzou.....	20
2.2. Importance nutritionnelle	20
3. Les exigences édapho-climatique de la tomate	21
3.1. Les exigences climatiques	21
3.2. Exigence édaphique	21
4. Etude botanique et agronomique.....	22
4.1. Classification botanique de la tomate	22
4.2. Classification génétique	22
4.2.1. Variétés fixées	23
4.2.2. Variétés hybride	23
5. Cycle biologique de la tomate.....	23
5.1. Germination des graines	23
5.2. La croissance	24
5.3. Floraison chez la tomate.....	24
6. Les maladies et les ravageurs	24
6.1. Maladie fongique et cryptogamique	24
6.2. Maladies bactériennes	24
6.3. Les ravageurs de la tomate	25

Chapitre II. Matériels et méthodes

1. Caractérisation et localisation de site expérimental	26
2. Présentation et situation de la STEP de Boghni	26
2.1. Caractéristiques de la STEP de Boghni.....	27
3. Matériel utilisé.....	28
3.1. Les eaux d'irrigation	28
3.2 Le sol	28
4. Matériel végétal.....	28
4.1/ Variété Roma Vf	28
4.2/Variété Rio grande	29

5. Mise en place de dispositif expérimental	29
5.1. Préparation du semis	29
5.2. Repiquage des plants	30
5.3. L'irrigation	30
5.4. Echantillonnage de sol	31
6. Mesure biométrique.....	31
7. Analyses au laboratoire	31
7.1. Analyses physico-chimiques de l'eau	32
7.2. Analyses physico-chimiques du sol	32
7.2.1. Mesure du pH.....	32
7.2.2. Mesure de la conductivité électrique d'un sol.....	33
7.2.3. Dosage du calcaire total	33
8. Analyses statistiques	34

Chapitre III. Résultats et discussions

1. Caractéristiques physique et chimiques des eaux d'irrigation	35
2. Caractéristiques physique et chimiques du sol initial	36
3. Indice de germination.....	36
4. Paramètres agronomiques	36
4.1. Aspect morphologique	36
4.1.1. La hauteur et le diamètre de la tige	38
4.1.2. Nombre de feuilles	39
4.1.3. Nombre de fruit	39
5. Evolution des caractéristiques chimiques du sol en fonction du stade phénologique ...	40
5.1. pH.....	40
5.2. La conductivité électrique CE	41
5.3. Calcaire total CaCO_3	43
Conclusion.....	45

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

Ca²⁺ : Calcium

DBO5 : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours

DCO : La demande chimique en oxygène

EC : Eau conventionnel

EUA : Eaux usées d'origine agricoles

EUD : Eaux usées d'origine domestiques

EUE : Eau Usée Epurée.

EUI : Eaux usées d'origine domestiques

ES : Eau de Source

Eq.Hab : Equivalents d'habitants

ÉTM : Eléments traces métalliques

FAO : Food and Agriculture Organisation

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

K⁺ : Potassium

Kmno4 : Permanganate de potassium

MES : Matières en suspension

Mg²⁺ : Magnésium

mg/L : Milligramme par litre

N : Azote

NO2 : Nitrite

NO3- : Nitrate

OMS : L'Organisation Mondiale de la Santé

ONA : L'Office National de l'Assainissement

P : Phosphore

pH : Potentielle hydrogène

PO4-3 : Ortho-phosphates

STEP : Station d'Épuration des Eaux Usées

µs/cm : Microsemenne par centimètre

µs/m : Microsemenne par mètre

Liste des figures

Figure 1. Schéma général d'une boue activée.....	16
Figure 2. Schéma de la filière lit bactérien	17
Figure 3. Diffusion de la tomate dans le monde	19
Figure 4. Situation géographique de Boghni	27
Figure 5. Image satellitaire de la localisation de la STEP de Boghni	28
Figure 6. STEP de Boghni	28
Figure 7. Parcelle d'échantillonnage	29
Figure 8. Image satellitaire du parcelle d'échantillonnage.....	29
Figure 9. Les deux variétés de la tomate Industrielle Roma Vf et Rio Grande...	30
Figure 10. Préparation de semis	30
Figure 11. Repiquage des plants	31
Figure 12. Méthode d'échantillonnage du sol	32
Figure 13. La mesure biométrique et agronomique de la culture	32
Figure 14. Mesure du pH	33
Figure 15. Mesure de la CE	34
Figure 16. Dosage du calcaire total	34
Figure 17. Test de germination	38
Figure 18. L'aspect morphologique de la tomate Irriguée par ES	39
Figure 19. L'aspect morphologique de la Tomate par EUE.....	39
Figure 20. Variation des valeurs de pH avant et après irrigation	43
Figure 21. Evolution de la conductivité du sol au cours du cycle de la culture	44
Figure 22. Evolution de CaCO ₃ du sol au cours du cycle de la culture	44

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques de la STEP de Boghni	28
Tableau 2. Calendrier d'irrigation de la culture de tomate	31
Tableau 3. Résultats d'analyse physique chimique de l'eau de source(ES) et de l'eau épurée(EUE)	37
Tableau 4. Effet des eaux usées sur les paramètres de la croissance de la tomate.	39
Tableau 5. Test de Newman-Keuls	44

Introduction

La rareté de l'eau douce est l'un des plus grands défis environnementaux du 21^{ème} siècle, en partie, à cause d'une distribution inégale des ressources en eau disponible dans le monde (Baccera et *al.*, 2015 ; Jasmin et *al.*, 2016). Dans la région méditerranéenne, un certain nombre de pays souffrent de pénurie d'eau, aggravée au cours des dernières années en raison des changements climatiques mondiaux qui entraînent des périodes de sécheresse fréquente et de longue durée (Liboutti et *al.*, 2018).

Située sur la rive sud de la Méditerranée, l'Algérie est parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques. La demande globale en eau augmente rapidement et considérablement alors que les ressources diminuent. Une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisations de l'eau (industrie, agriculture...) et aggrave ce déséquilibre de disponibilités de ressources entre les régions (Benblidia, 2011).

La qualité et la quantité d'eau sont des facteurs limitant de l'irrigation. L'utilisation appropriée des ressources d'eaux disponibles est l'une des responsabilités les plus importantes de l'humanité (Osma et *al.*, 2016).

L'agriculture est le plus grand utilisateur d'eau douce au monde (Baccera-castro et *al.*, 2015) ; gallal et *al.*, 2016 ; Jasmin et *al.*, 2016). En raison du manque des ressources en eau, la production agricole est très limitée. (Angelakis et *al.*, 1999).

L'utilisation des eaux usées épurées à différentes fins est l'une des solutions stratégiques les plus importantes en matière d'eau renouvelable dans de nombreux pays, en particulier ceux qui souffrent d'une pénurie des ressources en eaux traditionnelles (Belkhaïr et Asheraf, 2018). En effet, elles peuvent simultanément résoudre la pénurie d'eau et les problèmes d'éliminations des eaux usées (Hargreaves et *al.*, 2008 ; Kalavrouziotis et *al.*, 2008). Ainsi, le traitement des eaux usées permet de disposer d'une source d'eau potentiellement précieuse, riche en éléments nutritifs et fiable, disponible toute l'année (Hamillon et *al.*, 2007).

La réutilisation des eaux usées en agriculture est devenue une pratique courante dans les régions où le déficit en eau est plus prononcé (Hajjami et *al.*, 2013)

Cependant, en raison de l'origine et la composition des eaux usées épurées, leur utilisation en irrigation à long terme peut influencer certains paramètres du sol.

Dans ce contexte et en vue de mettre en évidence l'impact des eaux usées sur l'évolution chimique du sol et les paramètres morphologiques de la culture (tomate industrielle), notre étude a été menée dans la station de Boghni dans la wilaya de Tizi Ouzou,

Ce mémoire est partagé en deux parties complémentaires

- La première partie concerne la synthèse bibliographique.
- La deuxième partie présente une description de la méthodologie de notre travail et l'indication des différentes méthodes et protocoles d'analyse utilisés, aussi les résultats obtenus et leurs discussions.

-La troisième partie est la conclusion

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Généralités sur les eaux usées

1. Définition

Une eau usée appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large est défini comme « Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec l'activité humaine ». Les eaux usées exigent une épuration avant leur rejet dans le milieu naturel. L'évolution des activités humaines a provoqué l'accélération de la pollution du milieu récepteur, ce qui implique des mesures régénératrices et durables.

2. Nature et origine des eaux usées

Suivant l'origine des substances polluantes on distingue quatre catégories d'eaux usées :

2.1. Eaux usées d'origine industrielles (EUI)

Les eaux usées industrielles sont un mélange hétérogène constitué des minéraux ou des matières organiques, sous forme des composés insolubles, ou dissous dans l'eau dans une certaine proportion des composés (Boeglin, 2002).

Elles sont caractérisées par la présence d'une grande diversité des polluants selon l'utilisation de l'eau telle que :

- Les hydrocarbures (raffinerie).
- Les métaux (traitement de la surface).
- Les acides, les produits chimiques divers (industries chimiques).
- L'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques).
- Les matières radioactives (centre nucléaires, traitement des déchets radioactifs) (Calvet et *al.*, 2005).

2.2. Eaux usées d'origine pluviales

Ce sont les eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation, elles peuvent être particulièrement polluées, par deux mécanismes :

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées.
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs.

- Elles ont les mêmes propriétés que les eaux usées domestiques, avec des métaux lourds et des toxiques (Plomb, Zinc, Hydrocarbures) provenant essentiellement de la circulation automobile (Rejsek, 2002).

2.3. Eaux usées d'origine agricoles (EUA)

Ce sont des eaux polluées par des substances agricoles. Dans le contexte d'une agriculture efficace et intensive, les agriculteurs doivent utiliser différents produits pour améliorer la production agricole. Cependant, certains de ces produits existent ou peuvent présenter des risques pour l'environnement, en particulier la qualité de l'eau. Il s'agit principalement :

- Des fertilisants (engrais minéraux, commerciaux, ou excréments d'animaux produits ou non sur l'exploitation.).
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides, etc.) (Grosclaude, 1999).

2.4. Eaux usées d'origine domestiques

Sont des eaux proviennent essentiellement de l'utilisation de l'eau potable, dans la majorité des cas par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers (Sibanda, 2017). Elles se caractérisent par la présence des composés azotés, des micro-organismes, des produits pharmaceutiques, des graisses et de détergents (El Mahdi, 2010).

Les eaux usées domestiques provenir de :

- Les eaux des vannes, qui proviennent des sanitaires, sont des eaux très chargées en matières organiques, en composés azotés, phosphatés et en microorganisme (Sibanda, 2017).
- Les eaux grises, provenant soit de la cuisine (utilisée pour laver les légumes, les substances alimentaires, les détergents utilisés pour laver la vaisselle), soit de l'eau de salle de bain, les baignoires, les douches, les éviers, les machines à laver, ces eaux sont chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des graisses d'hydrocarbures (Chocat, 1997 ; Rejsek, 2002).

3. Caractéristiques Physico-chimiques et microbiologiques ses eaux usées

Les eaux usées sont principalement composées d'eau et d'autres matériaux qui ne représentent qu'une petite partie des eaux usées, mais peuvent être présents en quantités suffisantes pour mettre en danger la santé publique et l'environnement, donc avant de rejeter les eaux usées dans le milieu naturel, il faut définir des paramètres pour avoir des renseignements sur la composition et les caractéristiques qualitatives et quantitatives des eaux usées et de leurs impacts sur le milieu récepteur.

3.1. Paramètres physico-chimiques Les principaux paramètres physicochimiques analysés dans les eaux usées sont :

3.1.1. Température

La température est un facteur écologique important du milieu. Son élévation endommagera fortement la vie aquatique (pollution thermique) (Gaujous, 1995). Elle contrôle la qualité de l'oxygène dissous dans l'eau, affecte la décomposition de la matière organique, le développement des parasites responsables des nombreuses maladies, et la reproduction des cyanobactéries qui libèrent des substances toxiques (Slimani, 2003).

La valeur limite de la température des eaux usées rejet direct dans le milieu récepteur est inférieure à 30°C. De même, elle est considérée comme valeur limitent indicative pour les eaux destinées à l'irrigation (Belghyti et *al.*, 2007).

3.1.2 Matières en suspension

Il s'agit des matières non solubilisées. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales (Gaid, 1984). Elles sont en majeure partie de nature biodégradable, la plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES, elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur, cependant elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution (Hebert et Legare, 2000).

3.1.3. Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations (Rejsek, 2002). Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en ($\mu\text{s}/\text{cm}$) micro siemens par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Metahri, 2012). Elle est l'une des plus simples et des plus importantes analyses, pour le contrôle de la qualité des eaux usées (Thomas, 1955).

3.1.4. Débit

Le principal intérêt de la mesure du débit est le fait qu'il permet de quantifier la pollution rejetée par l'intermédiaire de l'équivalent habitant qui exprime le volume d'eau usée moyen déversé par habitant et par jour (Ladjel, 2006).

3.1.5. Potentiel d'hydrogène

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend des facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (Guermoudi et Kaddour, 2010). Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un PH-mètre ou par colorimétrie (Rodier, 1996).

3.1.6. Demande biochimique en oxygène

La demande biochimique en oxygène (DBO_5) c'est une méthode d'analyse de la pollution par la mesure de la quantité d'oxygène consommée pour la destruction des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau, pendant 5 jours d'incubation à 20°C , à l'aide de leur système enzymatique (Grosclaude, 1999 ; Bliefert et Perraud, 2001).

Selon Faby et Brissaud (1997) la DBO_5 dépend de :

- L'activité humaine et la nature des effluents éventuellement rejetés dans le réseau urbain.
- La composition des eaux d'alimentation en eau potable.
- La nature des matériaux des canalisations d'eau.

Ce paramètre est utilisé pour établir un classement qualitatif des eaux et déterminer indirectement la quantité des matières biodégradables, essentiellement organiques contenues dans l'eau (Grosclaude, 1999).

3.1.7. Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (DCO), c'est une méthode de dosage basée essentiellement sur la quantité d'oxygène consommée par l'ensemble des matières oxydables chimiquement contenues dans l'effluent, qu'elles soient biodégradables ou non (Rodier, 2009). L'avantage de mesure la DCO est qu'elle peut être obtenues rapidement (en 2 heures), mais ils ont l'inconvénient de ne pas donner d'informations sur la proportion des eaux usées qui peuvent être oxydées par des bactéries, ni la vitesse à laquelle la bio-oxydation se produit (Duncan, 2003).

3.1.8. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques (Abibsi, 2011). Sa solubilité est fonction de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. La teneur de l'oxygène dans l'eau ne dépasse rarement 10 mg/l. Elle est fonction de l'origine de l'eau ; l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l (Ladjel, 2006). La concentration en oxygène dissous est un paramètre important pour le maintien de la vie microbienne, et pour la dégradation de la matière organique et la photosynthèse (Dekhil et Zaibet, 2013).

3.1.9. Métaux lourds

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$). Les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels » (Cauchi et *al.*, 1996). Les éléments cités dans la littérature comme étant les plus dangereux sont le plomb (Pb), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni) (Vilagines, 2003).

3.1.10. Nutriments

Parmi les éléments présents dans l'eau, deux sont très importants car ils sont essentiels à la synthèse des microorganismes et des plantes dans le milieu aquatique. Il s'agit de l'azote N et du phosphore P.

3.2. Paramètres microbiologiques

3.2.1. Microorganismes

Les microorganismes sont des minuscules organismes vivants invisibles à l'œil nu et peuvent être trouvés presque partout sur terre. Ils jouent un rôle essentiel dans la nature mais sont la cause de nombreux problèmes dans l'industrie alimentaire (Guiraud et Pierre, 2012). Les eaux usées contiennent tous les micro-organismes excrétés avec les matières fécales et les microorganismes pathogènes. Ces micro-organismes peuvent être classés en quatre groupes principaux : les bactéries ; les virus ; les protozoaires ; les helminthes (Faby, 2003).

3.2.2. Matières en suspension et matière organique

3.2.2.1. Matières en suspension

Dans la plupart des cas, les matières en suspension sont de nature biodégradable, ils donnent à l'eau un aspect trouble, un mauvais goût et une odeur désagréable. Elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (Baumont et *al.*, 2005).

3.2.2.2. Matière organique

La matière organique dans l'eau est généralement constituée d'un mélange des composés organiques, qui sont décomposés à partir de substances d'origine végétale, animale et microbienne dans l'eau. Les principaux éléments de la matière organique sont le carbone, l'oxygène, l'azote, le soufre et l'hydrogène. La teneur en matière organique est également affectée par certains changements saisonniers et les activités agricoles (Anjou, 2008 ; Bernier, 2015).

3.2.3. Éléments Traces

Les éléments traces métalliques (ÉTM) ou (oligo-éléments) comprennent les 80 éléments chimiques qui composent la croûte terrestre, et la concentration de chaque élément est inférieure à 0,1% (Larrose, 2011). Certains de ces éléments sont des métaux toxiques en concentrations

élevées (Baize, 2000). La teneur des éléments traces ou les micropolluants présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. Dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, certains micropolluants (tels que les métaux lourds ou les pesticides) peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes (Baumont et *al.*, 2005).

3.2.3.1. Métaux Lourds

Les métaux lourds sont des polluants particulièrement toxiques pour la santé humaine. Caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g/cm³. Ils existent dans l'environnement sous différentes formes chimiques (Miquel, 2001 ; Duquesne, 1994). Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont très nombreux, parmi lesquels on a le fer, le zinc, le cuivre et le plomb, les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, etc.) sont présents à l'état de trace (Cauchi et *al.*, 1996).

3.2.3.2. Micropolluants d'origine organique

Sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion (Baumont et *al.*, 2005).

Les micropolluants d'origine organique sont également diversifiés, ce qui rend difficile l'évaluation de leurs dangers. Ils proviennent de l'utilisation domestique, des rejets industriels et du ruissellement des terres agricoles...etc. Parmi ces composés toxiques, on peut citer les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les alkylphénols, chlorophénols, phtalates, les pesticides et les résidus pharmaceutiques actifs. Certains composés ont la capacité de perturber le système endocrinien tel que les hydrocarbures polycycliques aromatiques et les alkylphénols (Belgiorno et *al.*, 2007).

3.2.4. Substances nutritives

Les nutriments se retrouvent en grande quantité dans l'eau usée et constituent donc un paramètre de qualité important pour l'évaluation de cette eau dans l'agriculture et la gestion des paysages (Hamoda, 2004). L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligoéléments (principalement le zinc, le bore et le soufre) sont essentiels à la vie des végétaux, leur teneur est considérable, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non (Faby et Brissaud, 1998). La présence de potassium, phosphate et nitrates dans

les eaux dans une moindre mesure peut avoir un impact bénéfique sur les cultures dans le cas d'une réutilisation agricole (Baumont et *al.*, 2005).

4. Effets des eaux usées

En l'absence de traitement des eaux usées ou même d'un traitement inadéquat, les eaux usées seront directement rejetées dans le milieu récepteur, ce qui non seulement nuira au milieu récepteur, mais aura également un impact négatif sur la santé humaine. Parmi les effets négatifs des eaux usées on peut citer :

4.1. Effets sur l'environnement

Le rejet direct des eaux usées domestiques dans l'environnement peut :

- Perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert (Chelle et *al.*, 2005) ;
- L'eutrophisation des lacs et des réservoirs par l'enrichissement des plans d'eau par l'apport artificiel et indésirable des substances nutritives, qui favorise la prolifération des algues et diminue la quantité d'oxygène contenue dans l'eau et peut provoquer la mort des poissons et des autres organismes aquatiques (Semaoune, 2008 ; Sahnoun, 2015).
- L'effet des micropolluants (les métaux lourds) qui sont toxiques même à des concentrations beaucoup plus faibles. Comme le mercure, le chrome et l'arsenic qui peuvent s'accumuler le long de la chaîne trophique et avoir un impact sur l'homme et les espèces aquatiques les plus fragiles (Henaut, 2011 ; Sahnoun, 2015).
- La qualité de l'eau des nappes phréatiques peut être dégradée par les eaux usées, si l'étanchéité de la station d'épuration ou de la lagune est défectueuse ou lorsque le système d'assainissement non collectif présente des dysfonctionnements (Sahnoun, 2015).
- L'épandage des boues résiduaires, ou l'irrigation par les eaux usées provoque une augmentation de la concentration des sols en éléments minéraux nutritifs (l'azote, le phosphore et le potassium) (Cherak, 1999).
- La contamination des sols par une grande quantité d'éléments en traces et des métaux lourds peuvent ; réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres, et l'augmentation de la salinisation et l'alcalinité, et la réduction de la perméabilité du sol, l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques (Ghali, 2008 ; FAO, 2003).

Il faut retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible (Chelle et *al.*, 2005).

4.2. Effets sur la santé humaine

Les eaux usées remplies par des pesticides, des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites) et d'éléments toxiques, sont aussi un attractif pour les insectes nuisibles les animaux (comme les rats, les cafards) tous ces organismes peuvent causer des maladies mortelle (OMS, 2005). Ces maladies sont véhiculées soit directement par la consommation des eaux contaminées, soit indirectement par la consommation des poissons originaires d'un milieu récepteur d'eaux usées (Dahou, 2011). Les maladies causées par le transport des eaux usées, telles que la fièvre typhoïde, le choléra. On a aussi s'ils y avis un contact prolongé avec les eaux usées, lors de baignades peut entraîner des infections au niveau de la peau, de la gorge, du nez et des oreilles (Asano, 1998).

5. Nécessité de l'épuration

Les caractéristiques de la station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que les eaux usées ne modifient pas l'état du milieu récepteur dans le cadre du non-respect des exigences en matière d'assainissement et de sécurité publique. De manière générale, en fonction des exigences des divers usages ou activités (approvisionnement en eau pour l'homme et l'animal, usages agricoles ou industriels, production des poissons ou des crustacés, *navigation*, baignade et autres activités sportives) (Hamsa, 2006).

6 Normes de rejet des eaux usées

Les eaux usées collectées dans les réseaux urbaines ou directement fournies par l'industrie, ne peuvent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral marine, ou terrain de d'épandage) que lorsqu'elle répond aux normes fixées par la réglementation (Hammadi, 2017).

6.1 Normes de l'OMS

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est considérée comme la plus haute institution dans le domaine de la santé et donne des recommandations à l'échelle mondiale. Elle propose des normes sanitaires depuis des décennies et les révisé pour les rendre plus

strictes et réduire les risques sanitaires. Ces normes sont destinées à un usage international et sont applicables aux pays en développement (Rotbardt, 2011).

6.2. Normes Algériennes

La réglementation Algérienne est assez succincte concernant des eaux usées épurées. Les caractéristiques techniques des systèmes de traitement des eaux usées sont fixées par les lois et les règlements, compte tenu notamment des normes liées à l'agglomération, à la possibilité d'utiliser des eaux traitées et aux risques de pollution. Le maintien de ce facteur nécessite une surveillance continue pour comparer avec les normes nationales.

Les normes algériennes, les limites maximales de rejet d'eaux usées sont énumérées dans le Journal Officiel de la République Algérienne, 2012.

II. Traitement des eaux usées

Avant toute évaluation ou réutilisation, les eaux usées doivent être traitées pour protéger l'environnement et la santé publique de tout danger. L'épuration des eaux usées réside dans l'élimination des diverses pollutions grâce à différentes technologies. Ainsi, à la sortie de la station, une partie de l'eau épurée est rejetée dans le milieu naturel, et d'autre part, il existe des sous-produits appelés boues résiduelles (Amir, 2005 ; Werther et Ogada, 1999).

1. Définition d'une station d'épuration

C'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant leur rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur.

Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs processus, physiques et biologiques. Le plus souvent, le processus biologique car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques. La taille et le type des dispositifs dépendent du degré de pollution des eaux à traiter (Bedouh, 2014).

Une station d'épuration est constituée d'une succession de dispositifs, conçus pour extraire en différentes étapes les divers polluants contenus dans les eaux. La pollution retenue dans la station d'épuration est transformée sous forme de boues. La succession des dispositifs est

calculée en fonction de la nature des eaux usées recueillies sur le réseau et des types de pollutions à traiter.

2. Objectif de traitement des eaux usées

L'objectif principal du traitement des eaux usées est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable, qui n'engendre aucun risque ni pour la santé humaine ni pour l'environnement. Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et éliminer les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques pour les cultures et la santé publique (FAO, 2003).

3. Les étapes de traitement des eaux usées

De l'entrée de la station jusqu'au rejet dans le milieu naturel, les différentes étapes du traitement des eaux usées sont classiquement les suivantes :

3.1. Le prétraitement

Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers. Il s'agit de dégrillage pour les déchets volumineux, de dessablage des sables et graviers et dégraissage pour éliminer les graisses et les huiles (Gomella et guerre 1978). Les eaux usées débarrassées des objets encombrants, des graisses et des sables, peuvent alors être dirigées vers le traitement primaire.

3.1.1. Dégrillage

Le dégrillage est la première étape du prétraitement des eaux brutes, consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille composée des barreaux placés verticalement, assurent la séparation, ou l'élimination des macro-déchets (papiers, bois, plastiques, chiffons, etc.), après ils sont tamisées tous les matières volumineuses susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement. Cela permet de protéger les ouvrages avals contre l'arrivée des gros objets capable de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Il rend également plus efficace les traitements suivants (Hyaric, 2009 ; Tahinarisata, 2017).

3.1.2. Dessablage

C'est un procédé qui consiste à l'élimination des graviers, des sables et tous les particules minérales plus ou moins fines de façon à éviter les dépôts dans les canaux et les conduites, ainsi pour protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les autres étapes de traitements en particulier les réacteurs biologiques. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés par aspiration sont ensuite essorés puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage. Cette opération concerne les particules minérales de granulométrie supérieure à 100 µm (Mehaiguene et *al.*, 2010).

3.1.3. Dégraissage - déshuilage

C'est une opération destinée à éliminer tous les produits insolubles de faible densité (huiles, graisses hydrocarbures), présentes dans les eaux résiduaires réalisée généralement par flottation, il permet l'élimination des huiles et des graisses qui remontent à la surface du bassin lorsque l'eau est soufflée et aérée (utilisation des bulles d'air). Pour un dégraissage sommaire, l'air est insufflé par des diffuseurs à bulles moyennes, provoquant une turbulence qui sépare les particules lourdes agglomérées des graisses. Les huiles et les graisses sont ensuite récupérées par pompage en surface puis soit traitées spécifiquement, soit en incinération (Tahinarisata, 2017).

3.2. Le traitement primaire

Le traitement primaire fait appel à une étape de décantation, qui consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les "boues primaires". Ce traitement élimine 50 à 60 % des matières en suspension et réduit d'environ 25% à 50% de la DBO (Jouraiphy.2007). La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable. La coagulation-floculation permet d'éliminer jusqu'à 90 % des matières en suspension. Cette technique comporte une première phase d'adjonction d'un réactif, qui provoque l'agglomération des particules en suspension, puis une accélération de leur chute au fond de l'ouvrage. Le traitement primaire est une étape facultative et dans de nombreuses stations d'épuration, les eaux usées prétraitées sont directement acheminées vers la phase de traitement secondaire.

3.2.1. Décantation

La décantation est une opération qui consiste à réaliser une séparation solide-liquide qui permettra d'obtenir l'eau clarifiée d'un côté et les boues de l'autre. Nous utilisons en général, l'action de pesanteur sur les particules en suspensions. Nous recueillons ensuite l'eau claire à la partie supérieure de l'appareil, alors que nous soutirons les boues sédimentées dans la partie inférieure (Mouchet, 2000). L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation (Dolaz, 2007).

3.2.2. Coagulant- Flocculant

La coagulation-floculation est une méthode qui favorise la sédimentation des particules flottantes dans les eaux usées grâce à l'action des réactifs chimiques ajoutés artificiellement (les coagulants ou les flocculants). Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et la matière organique d'une eau est essentielle (Désiré et *al.*, 2008).

3.2.3 Flottation

La flottation est un procédé de séparation des matières en suspension. Elle consiste à former un ensemble des particules et des bulles d'air plus léger que l'eau (Edelin, 1996). Ce traitement permette d'éliminé 50 à 55% des matières en suspensions et réduit environ 30% de la DBO5 et de la DCO (Vilaginee, 2000).

3.3. Traitements biologiques : traitements secondaires

Plusieurs méthodes biologiques et physico-chimiques ont été développées au fil des ans. Les traitements biologiques sont des alternatives économiques, simples et respectueuses de l'environnement, car de nombreux travaux démontrent la capacité des différents micro-organismes à dégrader les polluants dissous mais ils nécessitent souvent une acclimatation préalable ou des besoins nutritionnels particuliers (Ceretta et *al.*, 2020).

On en distingue différents types des traitements biologiques :

3.3.1. Lagunage naturel

C'est une forme naturelle et souple du traitement biologique des eaux usées (Balis, 2006). Les eaux usées sont stockées dans des plans d'eau peu profonds. L'activité microbienne se fait naturellement : échange avec l'atmosphère, photosynthèse. Des aérateurs peuvent être utilisés pour brasser l'air et optimiser l'activité des bactéries (Ademe, 2010).

3.3.2. Boues activées

Ce type de traitement implique l'aération du bassin des eaux usées afin d'assurer les conditions adéquates (O₂) pour le développement des micro-organismes qui s'agglomèrent et forment le floc bactérien. Les matières organiques polluantes vont être captées par ces floccs et former des boues activées qui sont brassées et assurent l'épuration des eaux usées dans le bassin. A l'aval de ce traitement, un clarificateur (ou décanteur secondaire) permet l'isolation des boues. Pour conserver un stock constant et suffisant des bactéries dans le bassin des boues activées, une partie des boues extraites du clarificateur est renvoyée en tête de bassin, l'autre partie est évacuée du circuit et dirigée vers les unités de traitement des boues (Jarde, 2002).

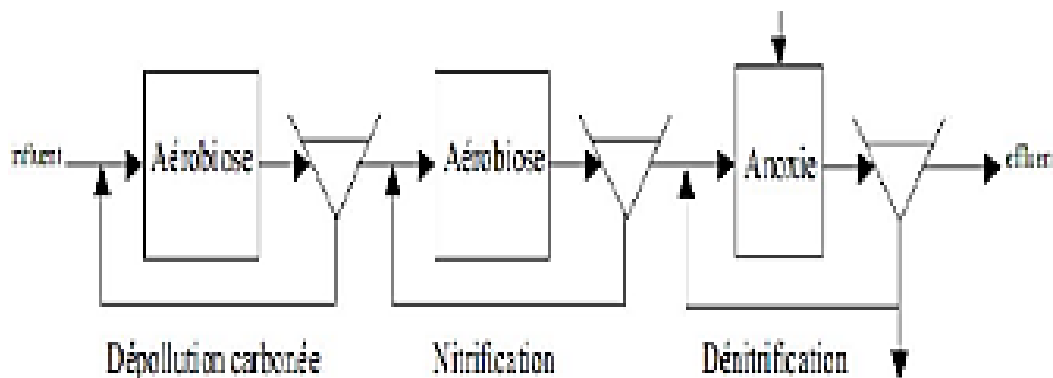


Figure1.Schéma général d'une boue activée (d'après Barnard et *al.* 1998).

3.3.4. Bio filtres et filtres bactériens

On peut également faire percoler l'eau à travers un matériau où se développent des bactéries. Cela peut être des galets ou des supports (lits bactériens) ou des argiles cuites, des schistes, des sables . . . (bio filtres). Ces traitements sont utilisés en plus des processus des boues activées, permettant d'éliminer une plus grande diversité des polluants (ADEME, 2010).

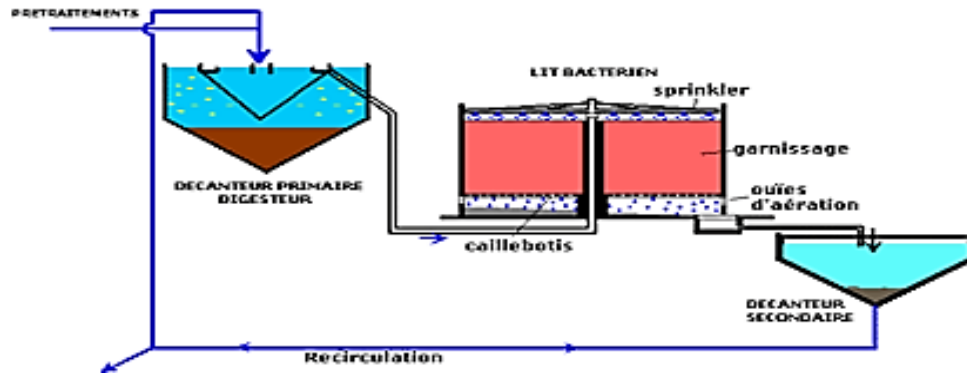


Figure2. Schéma de la filière lit bactérien

3.4. Traitement tertiaire

Les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurée (REUE), les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les micro-organismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. Ce ne sont pas des traitements d'épuration (classique) (mis à part le lagunage) par contre ils sont fréquemment utilisés dans les usines de production d'eau potable (Edline, 1996). Les traitements tertiaires visent à améliorer la qualité générale de l'eau (Metahri, 2012).

Les traitements tertiaires les plus courants sont :

3.4.1. Traitement bactériologique par rayonnement UV

Le traitement aux ultraviolets utilise une lampe au mercure parallèle ou perpendiculaire à l'écoulement de l'eau, et son rayonnement attaque directement les micro-organismes. Ce traitement est très facile à réaliser car il n'y a ni stockage ni traitement des produits chimiques, et les propriétés chimiques de l'effluent n'ont pas changé, le temps d'exposition requis est très court (20 à 30 s) (Dekhil et Zaibet, 2013).

3.4.2. Traitement par voie physico-chimique

- Le traitement tertiaire comprend un ou plusieurs des processus suivant :
- Désinfection avec du chlore ou l'ozone (pour éliminer les germes pathogénies) ;
- Neutralisation des métaux dans l'eau : en faisant varier le PH de l'eau dans certaines plages, on obtient une décantation de ces polluants (Dekhil et Zaibet, 2013).

3.4.3. Traitement des odeurs

Les premières phases du traitement, le dégrillage, le dessablage/déshuilage et la phase anaérobie du traitement biologique sont généralement confinées dans des bâtiments plus ou moins étanches afin que les mauvaises odeurs ne se répandent pas dans l'environnement de la station. Ce qui provoquera des nuisances olfactives inacceptables par les riverains. Cet air nauséabond est collecté et traité, il passe par trois tours de lavage : une d'acide sulfurique (H_2SO_4 -), une de javel, et un de soude (Allouche et *al.*, 1999).

4. Réutilisation des eaux usées en agriculture

La croissance démographique et économique du développement agricole et la fréquence des périodes de sécheresse ont entraîné une augmentation des besoins en eau et une demande accrue des ressources en eau conventionnelle (Djemil et *al.*, 2018). L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, malgré le potentiel des barrages largement exploité, l'offre n'a toujours pas atteint un taux de satisfaction (Legros, 2017). La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture s'avère comme étant l'une des solutions non conventionnelles susceptibles de résoudre ne serait-ce que partiellement le problème de manque d'eau d'irrigation (Mehaiguen et *al.*, 2018). Est une tendance réussie qui offre les deux avantages : de développer une nouvelle ressource en eau non conventionnelle, et d'utiliser un engrais naturel à faible coût (Abu-Zeid, 1998).

L'Algérie durant l'année 2019, un volume de 12.325.269 m³ d'eaux épurées a servi à l'irrigation de 11.045 hectares des terres agricoles, soit un taux de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture (REUE) de 31 % du volume épuré, a-t-on appris auprès de l'office national de l'assainissement (ONA). Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative, durant l'année 2020, Sur les 154 stations d'épuration exploitées par l'ONA (STEP) à travers les 44 wilayas, 16 stations sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture, a expliqué l'ONA.

III. Généralités sur la tomate

1. Origine et historique

La tomate fut ramenée du Pérou ou de Mexique au début du XVI^{ème} siècle par les conquistadors. Elle arriva d'abord en Espagne, puis très vite, elle parvint en Italie et gagna le reste de l'Europe (Polese, 2007).

La tomate était connue en France depuis 1560 comme plante ornementale. Cependant, tout laisse à penser que ce n'est que depuis 1778 qu'elle est considérée comme légume. Sa culture ne prit d'ailleurs vraiment de l'extension qu'à partir de 1800 (Laumonier, 1979).

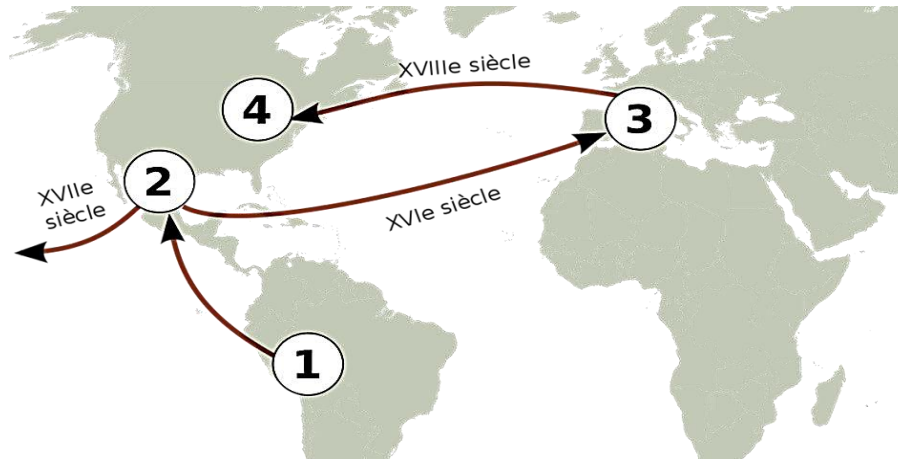


Figure 3. Diffusion de la tomate dans le monde (Gallais et Bannerot, 1992)

- 1) Pérou : Centre de diversification.
- 2) Mexique : Premier centre de domestication.
- 3) Europe : Deuxième centre de domestication.
- 4) Etats uni : Troisième centre de domestica

2. Importance de la tomate

2.1. Importance économique

2.1.1. Dans le monde

La tomate occupe une importante place à l'échelle mondiale. Elle est cultivée dans presque tous les pays du monde, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri (Desmas, 2005). La Chine est le principal producteur de tomate avec 50 millions de tonnes en 2013, suivie par 5 pays classés par ordre décroissant comme suit : l'Inde, les Etats-Unis, la Turquie, l'Egypte et l'Iran (FAOSTAT, 2013) Les données de la FAO (FAOSTAT, 2014) montrent que la production mondiale de la tomate atteint 170 millions de tonnes.

En 2016, la FAO avait estimé à 177 042 359 t/ha la production mondiale de tomate cultivée sur une superficie de 4 782 753 ha soit, un rendement moyen de 37, 01 t/ha.

2.1.2. En Algérie

En Algérie la tomate prend une place importante dans l'économie du pays. Elle est considérée comme une espèce prioritaire et classée en troisième lieu après la pomme de terre et l'oignon (Snoussi, 2010 ; FAO, 2011).

Sur la base des données statistiques du ministère de l'agriculture, du développement rural et de la pêche, la production nationale de la tomate fraîche s'est établie à 13,72 millions de quintaux (qx) durant la campagne 2017-2018. Le rendement a été de 428 qx/hectare pour la tomate de plein champ. En effet les plus grandes wilayas productrices de la tomate fraîche sont Biskra avec une production de 2,33 millions de qx, Mostaganem avec 1,33 million de qx, Tipaza avec 1,04 million de qx et Ain Defla avec 728.250 qx (MADRP).

2.1.3. Dans la wilaya de Tizi-Ouzou

Dans la wilaya de Tizi-Ouzou, durant la campagne agricole 2016/2017, la production est de 41604,50Qx sur une surface de 156,82 ha, soit un rendement moyen de 264,30 Qx/ha, selon la direction des services agricoles des Tizi-Ouzou (DSA, 2017).

2.2. Importance nutritionnelle

La consommation des fruits de la tomate contribue à un régime sain et équilibré

(Naika et *al.*,2005). Elle est consommée crue ou cuite, ou comme un produit transformé tels que jus de fruits, sauces, Ketchup et de conserves (Ghebbi, 2016).

La tomate est un aliment très peu énergétique (Davies et Hobson, 1981). Le fruit de tomate est riche en eau (93% à 95%), très pauvre en calories (19 K calories/100g), soit 63 K joules.

La tomate est riche en carotène et en lycopène, elle fournit des quantités appréciables de vitamines C, ainsi que la provitamine A et de nombreuses vitamines du groupe B. Ces minéraux sont abondants (notamment en potassium, magnésium et phosphore).

(Menard., 2009).

3. Les exigences édapho-climatique de la tomate

3.1. Les exigences climatiques

➤ La température

La température est le facteur le plus déterminant pour la production de la tomate car la culture réagit fortement aux variations thermiques (Lambert, 2006). La plante s'est adaptée à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide. La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24°C.

➤ Humidité

Selon Laumonier (1979), la tomate est très sensible à l'hygrométrie. Une hygrométrie relativement ambiante de 60 à 65% est la meilleure pour la fécondation. Lorsque l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Par ailleurs, le développement des maladies cryptogamiques est fortement lié aux fortes humidités accompagnées de la chaleur.

➤ La lumière

L'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles et la mise à fruits ainsi que la couleur (Naika et al., 2005).

Selon Chaux et Foury (1994), la tomate aime les situations bien ensoleillées, mais elle ne présente pas d'exigences photopériodiques très marquées. La lumière intervient sur la croissance et la fructification de la tomate par sa durée, son intensité et sa qualité.

3.2. Exigence édaphique

- Le sol

La tomate préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées. La couche superficielle du terrain doit être perméable à l'eau et à l'air. Dans les sols argileux lourds un travail profond du sol s'impose pour une meilleure pénétration des racines.

- pH du sol

D'après Chaux et Foury (1994), la tomate tolère une large gamme de pH, le taux de pH toléré est compris entre 4,5 et 8,5 et le meilleur équilibre nutritionnel est assuré à des pH compris entre 6 et 7. Néanmoins sur des sols à pH basique certains microéléments (Fe, Mn, Zn, Cu) restent peu disponibles pour la plante. Aussi des valeurs plus basses ou plus élevées induisent des carences minérales ou des toxicités (Vander Vossen et al., 2004).

- **Salinité**

La tomate tolère une conductivité électrique (CE) de l'ordre de 3 à 4,5 mmhos/cm. L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement suite à la réduction du calibre du fruit. La salinité du sol doit être maintenue entre 1 et 2 mmhos/cm à 25°C en fonction du stade de la culture et de la saison (Skiredj, 2006 in Ammari, 2012).

4. Etude botanique et agronomique :

4.1. Classification botanique de la tomate

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.), est une plante herbacée, vivace à l'état naturel et annuelle en culture. Elle appartient à la famille des Solanacées (Cronquist, 1981 ; Gausсен et al., 1982).

Munroe et Small (1997) rappellent que la tomate appartient à la classification suivante :

Règne..... Plantae
Sous règne..... Tracheobionta
Division..... Magnoliophyta
Classe..... Magnoliopsida
Sous classe..... Asteridae
Ordre..... Solonales
Famille..... Solanaceae
Genre..... *Solanum* ou *Lycopersicon*
Espèce..... *Lycopersicon esculentum* Mill.

4.2. Classification génétique

La tomate cultivée est une espèce diploïde à $2n=24$ chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants mono géniques dont certains sont très importants pour la sélection (Gallais et Bannerot, 1992).

La structure de la fleur de tomate assure une cleistogamie (autogamie stricte), mais elle peut se comporter comme une plante allogame. On peut avoir jusqu'à 47% de fécondation croisée dans la nature (Publishers, 2004). Ces deux types de fécondation divisent la tomate en deux variétés qui sont :

4.2.1. Variétés fixées

Les variétés fixées se caractérisent par l'homozygotie qui conserve les caractères parentaux (Chaux et Fourry, 1994). Il existe plus de cinq cents variétés fixées. Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (Polese, 2007).

4.2.2. Variétés hybride

Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes puisqu'elles n'existent que depuis 1960 (Polese, 2007). Elles présentent la faculté de réunir plusieurs caractères d'intérêts agronomiques et nutritionnels grâce à l'effet hétérosis (Gallais etBannerot, 1992).

5. Cycle biologique de la tomate

D'après Gallais et Bannerot (1992), le cycle végétatif complet de la graine à la graine de la tomate varie selon les variétés, la durée et les conditions de culture ; mais il s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit). Le cycle comprend six phases qui sont les suivantes :

5.1. Germination des graines

La germination des graines de tomate correspond au stade de levée de la graine jusqu'à la jeune plante capable de croître normalement (Corbineau et Core 2006). La germination chez la tomate est épigée. A ce moment une température ambiante d'environ 20C° et une humidité relative de 70 à 80 % sont nécessaires (Chaux et Fourry, 1994).

5.2. La croissance

Est un changement quantitatif de la plante au cours du temps, qui s'effectue par une augmentation irréversible de ses dimensions (Thiman, 1956). Selon Laumonier (1979), cette étape se déroule en deux phases et dans deux milieux différents.

En pépinière : De la levée jusqu'au stade 6 feuilles, on remarque l'apparition des racines non fonctionnelles et des prés feuilles.

En plein champ : Après l'apparition des feuilles à photosynthèse intense et des racines fonctionnelles, les plantes continuent leur croissance. La tige s'épaissit et augmente son nombre de feuille.

5.3. Floraison chez la tomate

La floraison correspond à l'apparition et le développement des ébauches florales qui se traduit par la transformation du méristème apicale en passant de l'état végétatif à l'état reproducteur.

L'apex s'aplatit, s'élargit et les protubérances formées sont des ébauches de pièces florales. Celles-ci se transforment ensuite en boutons floraux et s'épanouissent en fleurs (Rey et Costes, 1965).

6. Les maladies et les ravageurs

La tomate est sujette à de nombreux pathogènes au même titre que toutes les cultures maraîchères et plantes diverses (Nechadi, *et al.*, 2002). Notamment causés par des champignons, des bactéries, et les virus (Leroux, 2003).

6.1. Maladie fongique et cryptogamique

- Mildiou (*Phytophthora infestans*)
- Botrytis (*Botrytis cynarae*)
- Alternariose (*Alternaria solani*)
- Fusariose (FORL)
- Pythium au niveau racinaire
- Pourriture grise causé par *Botrytis cinerea*

6.2. Maladies bactériennes

- Chancre bactérien
- Moucheture de la tomate
- Gale bactérienne
- Moelle noire
- Nématodes à galles

6.3. Les ravageurs de la tomate

- Puceron (*Myzus persicae*)
- Aleurode ou mouche blanche (*Trialeurodes vaporarium*)
- Chenille défoliatrice ou (*Heliothis armigera*)
- Thrips *Frankliniella occidentalis*
- Punaise verte (*Nezara viridula*)

Chapitre II : Matériels et méthodes

L'objectif de notre expérimentation consiste à suivre l'impact des eaux usées épurées sur les paramètres physico-chimiques à savoir le pH, la CE et le taux de calcaire total (CaCO_3) du sol et la croissance de la culture de la tomate industrielle.

Pour cela on a utilisé deux types d'irrigation, une eau de source comme témoin contrôle et une eau usée épurée de la STEP de Boghni et deux variétés de tomate industrielle (Roma Vf et Rio grande).

1. Caractérisation et localisation de site expérimental

Boghni est une daïra de la wilaya de Tizi Ouzou, créée en 1920, elle est devenue une daïra en 1984, située à environ 38 km au sud-ouest de Tizi Ouzou, à 15 km à l'ouest d'Ouadhia et à 13 km à l'Est de Draâ El Mizan. Sa superficie est de 122,13 km² (Figure 4).

Boghni possède un climat méditerranéen chaud et sec en Juin – septembre et froid et humide en octobre – mai, les précipitations sont en moyenne plus élevées en décembre-janvier et diminuent progressivement à partir d'avril.

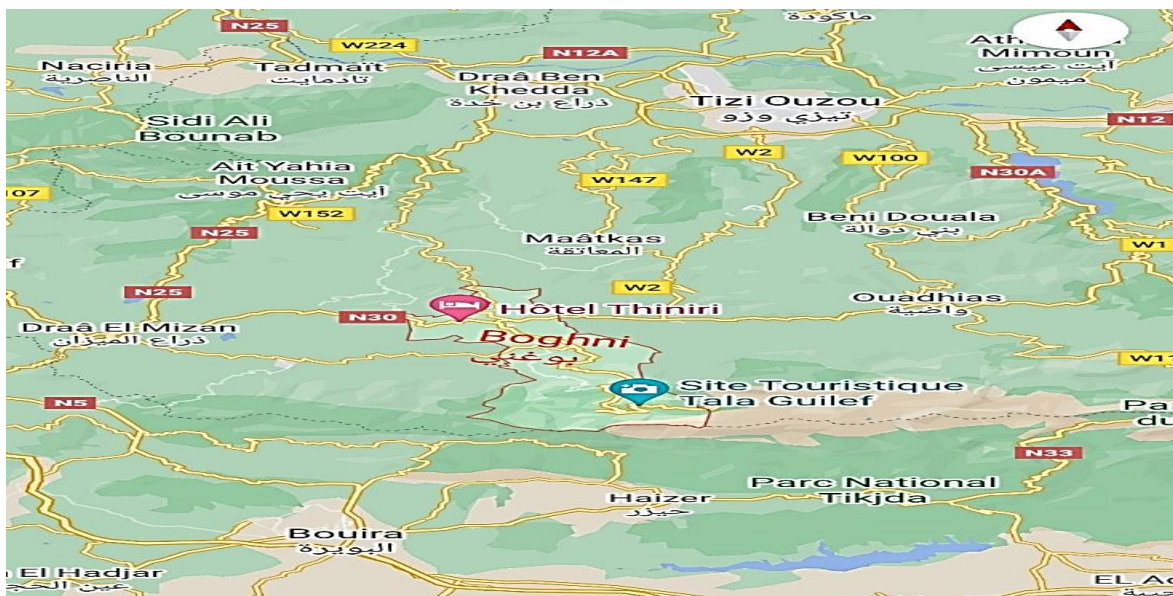


Figure 4. Situation géographique de Boghni

2. Présentation et situation de la STEP de Boghni

La station d'épuration de Boghni est une station de traitement des eaux polluées par le procédé des boues activées à faible charge, elle a été réalisée à la fin des années 70 et elle est mise en service en novembre 2006, la STEP est gérée par l'ONA (Office National

d'Assainissement). La station occupe une superficie globale de 1,4 ha avec une capacité épuratoire de 13000 éq/ hab. Elle est située à proximité d'oued Boghni qui recueille des eaux usées d'origine domestiques et à écoulement gravitaire, pour un débit moyen théorique de 1950 m³/ jour (Figure 5 ; 6)

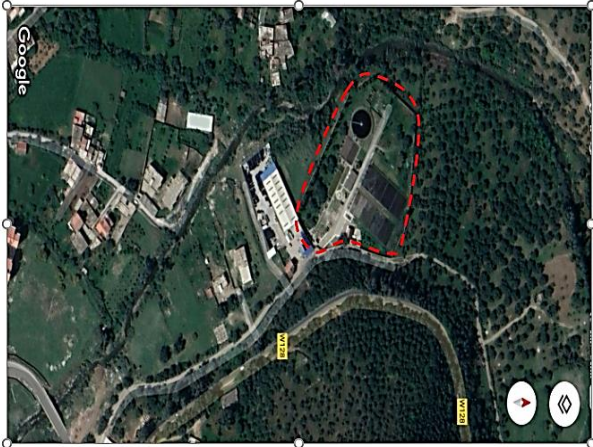


Figure 5. Image satellitaire de la localisation de la STEP de Boghni (source. Google Earth, 2021)

Figure 6. STEP de Boghni

2.1. Caractéristiques de la STEP de Boghni

Les caractéristiques de la STEP de Boghni sont représentées dans le (tableau n°1)

Tableau n°1. Caractéristiques de la STEP de Boghni

Nom de la STEP	ONA Boghni
Date de mise en service	Novembre 2006
Etat de fonctionnement	Fonctionnelle
Etat physique	Bon état
Procédé d'épuration	Boues activées (faible charge)
Nature des eaux épurées	Domestiques
Capacité (eq/hab)	13000
Débit installé (m3 /j)	1950
Localités raccordées à la STEP	La ville de Boghni
Impact de réalisation	Protection de la nappe phréatique de l'Oued Boghni
Lieu de rejet des eaux usées épurées	Oued Boghni
Superficie de l'assiette (m ²)	13000

MES (mg/l)	8500kg/j
DBO5 (mg/l)	6500kg/j
DCO (mg/l)	<30

3. matériel utilisé

3.1. Les eaux d'irrigation

Nous avons utilisé deux types d'eau d'irrigation, une eau de source (ES) et une eau usée épurée(EUE) et deux variétés de tomate industrielle Roma Vf et Rio Grande(RG).

3.2. Le sol

Le sol utilisé dans notre expérimentation a été prélevé dans une zone constituée de plusieurs exploitations privées (figures 7 ; 8). La zone est située entre trois communes : Boghni, Mechtras et Assi Youcef. La parcelle de prélèvement est d'une surface d'environ 0,25ha et l'échantillonnage a été fait aléatoirement sur une profondeur comprise entre 0 cm et 30 cm à l'aide d'une pelle. Le sol a une texture argilo-limoneuse et un pH neutre (7,1).



Figure 7. Parcelle d'échantillonnage

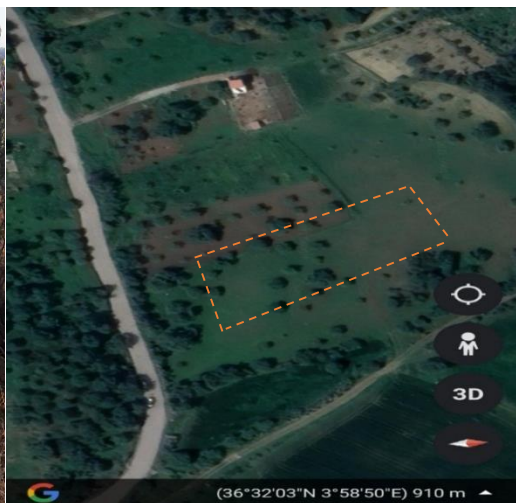


Figure 8. Image satellitaire de la parcelle d'échantillonnage.

4. Matériel végétal

4.1/ Variété Roma Vf

C'est une variété américaine dont les fruits rouges allongés poussent en grappe durant tout l'été. Sa chair est ferme, douce et contient peu d'eau (Figure9 a).

4.2/Variété Rio grande

C'est une variété de mi saison, originaire d'Amérique, à croissance déterminée et à pollinisation libre. Ses fruits allongés, de peau rouge et une chair ferme donnant de belles grappes (Figure 9 b).



Figure 9. Les deux variétés de la tomate : a) variété Roma Vf ; b) variété Rio grande

5. Mise en place de dispositif expérimental

5.1. Préparation du semis

Le semis a été réalisé le 28/02/2021. Pour notre culture nous avons utilisé deux plateaux de 72 alvéoles chacun, avec en moyenne 3 graines par alvéole pour un total de 432 graines, sur une profondeur de 2cm. Nous notons que le substrat utilisé pour la germination des graines est constitué exclusivement de terreau (Figure 10).



Figure 10. Préparation de semis

5.2. Repiquage des plants

Le repiquage a été effectué le 29/04/2021. Nous avons repiqué un plant dans chaque pot contenant du gravier pour l'infiltration des eaux et environ quatre kg de sol, pour un total de 8 plants pour la variété Roma Vf et 8 pour la variété Rio Grande (Figure11).



Figure11. Repiquage des plants

5.3. L'irrigation

Pendant l'expérimentation l'irrigation a été effectuée régulièrement selon les besoins de la culture, de manière à garder le sol toujours à sa capacité au champ durant tout le cycle végétatif et suivant le calendrier ci-dessous :

Tableau n°2. Calendrier d'irrigation de la culture.

mai-21							juin-21						
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
					1	2		1	2	3	4	5	6
3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13
10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20
17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27
24	25	26	27	28	29	30	28	29	30				
31													

En rouge : Les jours sans irrigation

En noir : Les jours avec irrigation

5.4. Echantillonnage de sol

Nous avons effectué deux prélèvements du sol pour les analyses physico-chimiques. Le premier a été effectué après un mois d'irrigation le 01/06/2021 et le deuxième après deux mois d'irrigation le 04/07/2021. Le mode de prélèvement utilisé est manuel avec une cuillère (Figure12).



Figure12. Méthode d'échantillonnage du sol.

6. Mesure biométrique

Concernant l'aspect culture, nous avons comparé la croissance et le développement des plants de la tomate industrielle Roma Vf et Rio grande irrigués avec des EUE et des ES par le suivi de la croissance en développement et la mesure de diamètre et la hauteur des plants (cm), le nombre de feuilles et le nombre de fruits.



Figure 13. la mesure biométrique et agronomique de la culture

7. Analyses au laboratoire

7.1. Analyses physico-chimiques de l'eau

Les analyses de l'eau de source ont été faites au niveau de laboratoire à Bejaia.

Les analyses de l'eau usée épurée ont été faites au niveau de laboratoire de l'ONA de Boghni et l'ONA de Draa El Mizan.

7.2. Analyses physico-chimiques du sol

Pour évaluer l'impact de l'irrigation par les EUE et les ES sur l'évolution du pH, de la conductivité électrique et du calcaire total) nous avons procédé à des analyses d'échantillons de sol prélevés avant le démarrage d'essai, après un mois d'irrigation et à la fin après deux mois d'irrigation.

Les échantillons du sol ont été séchés et tamisés à l'aide d'un tamis de 2mm de diamètre, au niveau du laboratoire de pédologie de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'UMMTO

7.2.1. Mesure du pH

La mesure du pH a été effectuée sur un rapport sol eau de 1/5 en utilisant le pH mètre selon le protocole suivant :

- Peser 10g de sol tamisé à 2mm et les introduire dans le flacon d'agitation.
- Ajouter 50ml d'eau distillée.
- Agiter pendant 30mn.
- Laisser refroidir durant 2 heures le contenu des flacons.
- Passé les échantillons au pH mètre après calibrage.

La lecture de la valeur se fait après stabilisation. Figure (14).



Figure14. Mesure du pH

7.2.2. Mesure de la conductivité électrique d'un sol

La mesure de la CE est effectuée selon le mode opératoire suivant :

Peser 20g de sol tamisé à 2mm de diamètre et les introduire dans un flacon d'agitation, y ajouter 100ml d'eau distillée. Puis agiter pendant 10mn et laisser reposer pendant 30mn. Introduire l'électrode du conductimètre au centre du flacon contenant l'extrait de sol, puis lire la conductivité après stabilisation de l'aiguille (Figure15)



Figure15. Mesure de la CE

7.2.3. Dosage du calcaire total

Le taux de carbonates de calcium a été déterminé par la méthode volumétrique consistant à attaquer le sol avec l'acide chlorhydrique (Figure 16)

Puis le titrage par la soude en présence de phénophtaléine. Le taux de calcaire est calculé selon la formule suivante : $\text{CaCO}_3 (\%) = (V_t - V_e) * 12.5$

V_t : Volume de témoin.

V_e : Volume d'échantillon.



Figure16. Dosage du calcaire total

8. Analyses statistiques

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance à trois facteurs au seuil $\alpha=0,05$ $p=5\%$ en utilisant le logiciel STAT BOX, version 6.0.

Dans le cas où les différences sont significatives, nous faisons appel au test NEWMAN et KEULS au seuil de 5% afin de déterminer les groupes homogènes.

Chapitre III : Résultats et discussions

1. Caractéristiques physique et chimiques des eaux d'irrigation

Tableau n°3. Résultats d'analyse physique chimique de l'eau de source (ES) et l'eau épurée (EUE).

<i>Caractéristiques</i>	Valeurs eau De source (ES)	Normes ES (OMS)	Eau usée Epurée (EUE)	Normes EUE (JORA)
<i>pH</i>	7,8	6.5-8.5	8,5	6,5-8,5
<i>CE</i>	996 $\mu\text{s}/\text{m}$	<1250 $\mu\text{s}/\text{m}$	2610 $\mu\text{s}/\text{m}$	<3000 $\mu\text{s}/\text{m}$
<i>T°</i>	23	<30	23	30
<i>Nitrate NO₃⁻</i>	1,29 mg/l	<30mg/l	12,76 mg/l	<30 mg/l
<i>Nitrite NO₂⁻</i>	0,2 mg/l	<1mg/l	0,141 mg/l	<1 mg/l
<i>PO₄</i>	0,15 mg/l	<2mg/l	1,67 mg/l	<2 mg/l
<i>MES</i>	0,2 mg/l	<30mg/l	55 mg/l	<30 mg/l
<i>DBO</i>	/	<30mg/l	26 ,8 mg/l	<30 mg/l
<i>DCO</i>	/	<90mg/l	53,28 mg/l	<90 mg/l

D'après les résultats obtenus, les deux qualités d'eau utilisées en irrigation étaient conformes aux normes de réutilisation des eaux usées traitées et aux normes de qualité destinées à l'irrigation pour la majorité des caractéristiques (OMS, 2006 ; JORA, 2013). (Tableau 3)

Les effluents des EUE et les ES appliquées à l'irrigation avaient une réaction légèrement alcaline, les valeurs de pH sont de l'ordre de 7,8 et 8,5 pour l'ES et l'EUE respectivement. Ces valeurs se situent donc dans la plage de pH favorable pour l'irrigation comprise entre 6,5 et 8,5 (Ayer et Wescot, 1988).

La conductivité électrique est de 2610 $\mu\text{s}/\text{m}$ et 996 $\mu\text{s}/\text{m}$ pour l'EUE et l'ES respectivement, cela veut dire que les eaux utilisées pour l'irrigation ont une salinité moyenne, les deux valeurs sont inférieures à seuil de la salinité autorisée par la norme (OMS,2006 ; JORA, 2013). La concentration en éléments nutritifs a tendance à être plus élevée dans les EUE que dans les ES.

2. Caractéristiques physique et chimiques du sol initial

Le sol utilisé dans cette expérimentation à une texture argilo-limoneuse, sa conductivité électrique est de $17,3\mu\text{s}/\text{cm}$ (non salin), un pH neutre (7,1) et un taux de calcaire de 10,83% (moyennement calcaire).

3. Indice de germination

L'indice de germination est de 70%, donc la germination des graines des deux variétés n'a pas été inhibée, ces graines sont de bonne qualité (Figure17).



Figure17.Test de germination

4. Paramètres agronomiques

4.1. Aspect morphologique

L'effet de l'irrigation par les EUE s'est manifesté sur l'aspect morphologique des deux variétés. La couleur est verte foncée chez les plants irrigués avec les EUE comparativement à ceux irrigués par les ES (vert claire) (tableau4) figures (18 ; 19).



Figure 18. L’aspect morphologique de la tomate Irriguée par ES.



Figure 19. L’aspect morphologique de la tomate irriguée par EUE.

Tableau n° 4. Effet des eaux usées sur les paramètres de la croissance de la tomate (Roma VF, Rio grande).

<i>Eau</i>		<i>Eau de source</i>		<i>Eau usée épurée</i>	
<i>Les variétés</i>	<i>Stade</i>	<i>Roma VF</i>	<i>Rio grande</i>	<i>Roma VF</i>	<i>Rio grande</i>
<i>Les paramètres</i>					
<i>La couleur</i>	Tous les stades	Claire	Claire	Foncé	Foncé
<i>N^{bre} de feuilles</i>	Plantation	6,5 ±0,58	8,25 ±1,26	9,5 ±1,29	10,5 ±1,29
	Floraison	47 ±20,74	71,25 ±12,04	96,25 ±16,70	91,75 ±26,86
	Fructification	47±20,74	72,5 ± 8,83	106,5 ±14,20	100,75 ±26,58
<i>Diamètres des tiges</i>	Plantation	0.5 ±0	0.5 ±0	0.5 ±0	0.5 ±0
	Floraison	1,12 ±0,15	1,25 ±0,21	1.5 ±0,39	1,88 ±0,30
	Fructification	1,82 ±0,35	2 ±0,16	2.2 ±0,29	2.37 ±0,35
<i>Hauteurs</i>	Plantation	5,75 ±0,96	5,75 ± 0,5	7,25 ±0,5	8,75 ±0,96
	Floraison	25,75 ±5,74	34,25 ±2,87	35 ±4,08	45,75 ±8,06
	Fructification	34 ±4,32	39,87± 2,39	53,25 ± 2,22	57,5 ±3,42
<i>N^{bre} de Fruits</i>		2±0,82	2,25±0,5	3±0,82	4,25±0,96

4.1.1. La hauteur et le diamètre de la tige

La hauteur et le diamètre de la tige sont influencés par la variété et la qualité de l'eau d'irrigation. La hauteur des plants enregistrée par la variété Rio grande est de 32cm. Elle est supérieure à celle enregistrée par la variété Roma Vf avec 26,8 cm. L'analyse statistique a révélé une différence significative entre les deux variétés.

Les plants de la variété Rio grande présentent les diamètres les plus élevés par rapport aux plants de la variété Roma avec 1,41cm et 1,28cm respectivement.

La hauteur et le diamètre des tiges des plants irrigués avec les EUE sont significativement supérieurs à ceux des plants irrigués avec l'ES, l'écart varie d'une façon significative avec le stade phénologique (Tableau 4).

L'analyse statistique a révélé une différence significative de trois facteurs étudiés (Variété ; Eau ; Stade) pour la hauteur et le diamètre des tiges des plants.

Elfanssi et *al.*, (2018) ont constaté que la meilleure croissance sur la surface foliaire moyenne avait été observée avec l'irrigation par les eaux usées brutes suivie de l'irrigation par les eaux usées traitées pendant les trois saisons de culture, alors qu'une faible croissance avait été constatée avec les traitements d'irrigation avec de l'eau de puits. Elfanssi et *al.*, (2018) et Ben Said et *al.*, (2017) ont déclaré que la fin de chaque saison de culture correspondait à une diminution de la surface foliaire moyenne irriguée par l'EC, tandis que la surface foliaire moyenne de la luzerne (*Medicago sativa* L.) irriguée par des eaux usées brutes et traitées était toujours en croissance, ce qui montre que l'irrigation avec des eaux usées a eu un effet positif sur la longueur de la luzerne.

Les effluents domestiques peuvent contenir des éléments nutritifs importants pour le développement des cultures agricoles (Urbano et *al.*, 2017). Gatta et *al.*, (2016) (Almukhtar et Scholz, 2016 ; Ganjegunte et *al.*, 2017) ont montré que les EUE étaient toujours caractérisées par des teneurs en $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, N total, $\text{PO}_4\text{-P}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ plus élevées que celles mesurées pour les ES.

4.1.2. Nombre de feuilles

Les résultats obtenus montrent que le nombre de feuilles par plantes est influencé par la qualité d'eau d'irrigation et le stade de développement de la culture. Du stade plantation au stade floraison, le nombre de feuilles passe de 6.5 à 72.5 feuilles par plant en irrigation avec l'ES tandis que dans les sols irrigués avec les EUE, il passe de 9.5 au stade plantation à 106.5 au stade floraison.

Au stade de fructification, on a enregistré une augmentation significative du nombre de feuilles de la variété Roma VF irriguée avec les EUE par rapport à la variété Roma VF irriguée par les ES avec 106.5 feuilles et 47 feuilles, respectivement.

L'analyse statistique a révélé une différence significative des trois facteurs étudiés (Variété x Eau x Stade)

Uzma et *al.* (2016) ont démontré que les effets stimulants des eaux usées traitées pouvaient être attribués à la présence de nombreux nutriments essentiels tels que N, P, K, Ca et Mg. Ces effets azotés améliorent la synthèse des protéines végétales, ce qui entraîne une augmentation des niveaux de glucides et, par conséquent, une augmentation des paramètres de croissance des plantes (Shaheen et *al.*, 2007).

Le plus grand nombre de feuilles était observé chez les plants irrigués avec les EUE pour les deux cycles de croissance. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Oliveira et *al.* (2013), indiquant une augmentation du nombre de feuilles de *Rosa hybrida* irriguée avec EUE. Une augmentation du nombre de feuilles a également été observée pour *Gossypium hirsutum* après irrigation biologique par les EUE (Alikhasi et *al.*, 2012).

4.1.3. Nombre de fruit

La production moyenne par plant varie de 2 fruit enregistré pour la variété Roma VF irriguée par l'ES et 4,25 fruit enregistré par la variété Rio grande irriguée avec l'EUE. Il est à signaler que la production la plus élevée a été marquée par les plants irrigués avec les EUE par rapport à ceux irrigués par les ES, ce qui montre que la qualité de l'eau a un effet positif sur la production.

Cette conclusion est confirmée par l'analyse de la variance qui a révélé une différence très hautement significative entre la production en fruits par plants en fonction de la qualité de l'eau d'irrigation.

(Vergine et *al.*, 2016) ont montré que le rendement commercialisable des cultures de laitue et de fenouil irriguées avec des eaux usées municipales traitées était supérieur à celui obtenu avec l'irrigation en eau douce. De même, une autre étude a montré que l'irrigation par les eaux usées traitées affectait positivement les rendements en chou-fleur et choux. Les rendements commercialisables les plus élevés pour ces deux espèces de légumes étant obtenus à l'aide d'eaux usées traitées (Kiziloglu et *al.*, 2008).

5. Evolution des caractéristiques chimiques du sol en fonction du stade phénologique

5.1. pH

Le pH est un élément clé de la composition chimique du sol et détermine la disponibilité des éléments nutritif pour les plantes et les microorganismes du sol (Doucet, 2006 ; Borah et *al.*, 2010).

Les valeurs du pH des différents échantillons prélevés sont présentées dans la figure 20

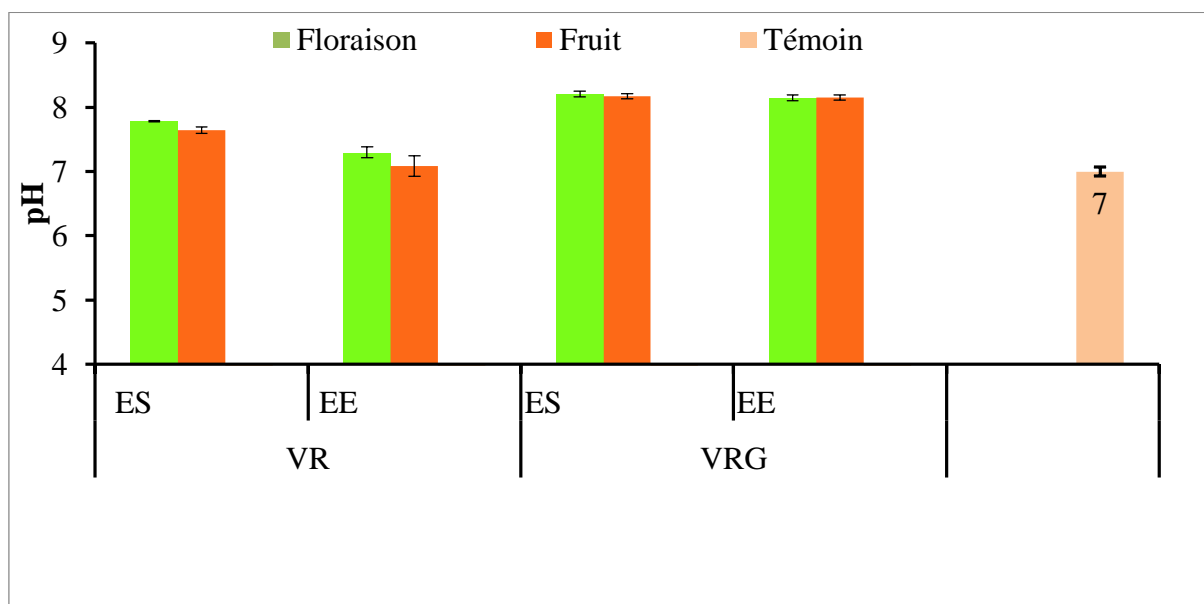


Figure 20. Variation des valeurs de pH avant et après irrigation.

Le pH du sol se situe dans l'intervalle 7.08 enregistré par la variété Roma Vf irriguée par les EUE et 8.4 enregistré sous la variété Rio grande irriguée par les ES.

D'après les normes d'interprétation, notre sol a tendance à devenir basique par rapport à l'état initiale (neutre) (figure22).

On note aussi que la variété Rio grande a connu une augmentation significative du pH que celle enregistrée pour la variété Roma Vf, avec respectivement 8.2 et 7.2

Les ES augmentent de façon significative le pH du sol comparativement au pH du sol irrigué par les EUE avec respectivement 8.2 et 8.1. L'analyse statistique a révélé que l'interaction des trois facteurs étudiés (Variété x Eau x Stade) n'est pas significative.

Christou et *al.*, (2014), ont montré que l'irrigation avec des EUE n'a pas affecté d'une manière significative le pH du sol. Farhadkani et *al.*, (2018), ont montré que le pH du sol était relativement constant dans toutes les parcelles et ne changeait pas après l'irrigation. Un résultat similaire a été rapporté par Rusan et *al.*, (2007), après irrigation à long terme du sol, par des EUE. Par contre, Orlofsky et *al.*, (2016), ont montré que le pH du sol n'était pas affecté par l'eau d'irrigation seule, mais l'effet du temps et l'interaction entre le temps et l'eau d'irrigation ont eu un effet significatif.

Des pH significativement plus élevés dans le sol irrigué par l'EUE par rapport au sol témoin, pourraient être dû à des concentrations plus élevées de cations basiques (Ca^{2+} , Na^+ et Mg^{2+}) qui ont entraîné une augmentation du pH du sol (Gharaibeh et *al.*, 2016). Les EUE contiennent des niveaux élevés d'alcalinité et de sodicité, et l'irrigation par des EUE induira donc une alcalinisation et une sodification du sol, ce qui entraînera une augmentation du pH de la solution du sol après une utilisation prolongée des EUE (Sou-Dakouri et *al.*, 2013). Vogeler et *al.*, (2009), ont signalé des augmentations du pH du sol irrigué par des EUE sur une longue période.

5.2. La conductivité électrique CE

La conductivité électrique permet d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous, elle ne s'applique qu'aux terres salées et aux terres à taux de fertilisation très élevé. De plus, elle est nécessaire pour l'étude du complexe adsorbant des sols salés (Aubert, 1978).

La Figure 21 représente l'évolution de la conductivité électrique du sol au cours du cycle de la culture avant et après irrigation.

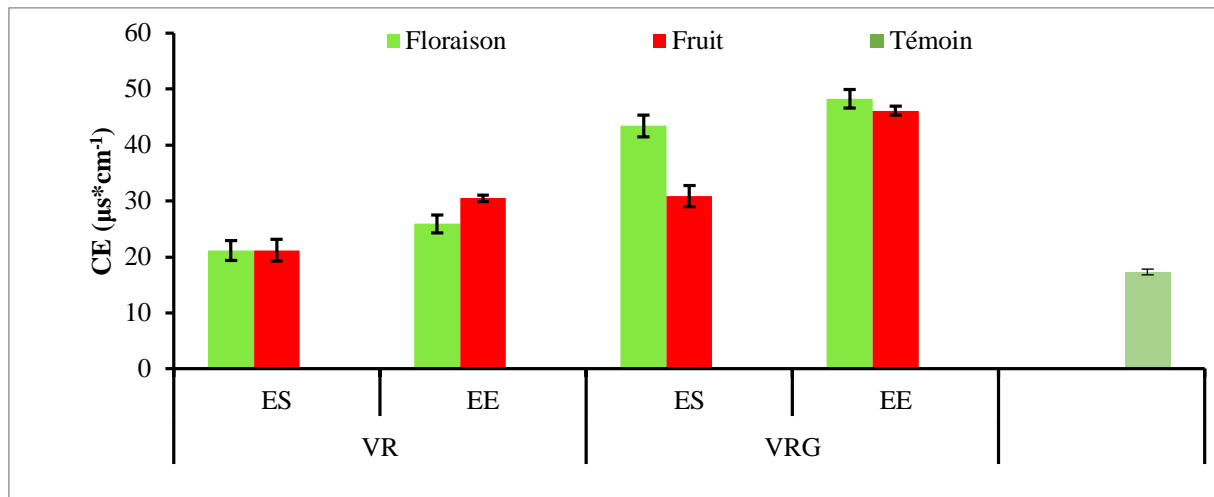


Figure 21. Evolution de la conductivité du sol au cours du cycle de la culture

Les résultats montrent que la CE de notre sol varie de 21,2 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistré sous la variété Roma Vf irriguée par les ES à 48,2 $\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistré sous la variété Rio grande irriguée par les EUE (Figure 23). D'après les normes d'interprétation, le sol est non salé, ce qui ne présente aucun danger de salinisation pour le sol.

La variété Rio grande a connu une augmentation significativement plus importante que celle enregistrée pour la variété Roma avec respectivement 48.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 30,1 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

On signale aussi une augmentation de la CE du sol irrigué par les EUE comparativement à la CE du sol irrigué par les ES avec respectivement 48.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 46,2 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Une augmentation de la CE au stade floraison par rapport au stade fructification a été aussi constatée.

L'analyse statistique a révélé que l'interaction des trois facteurs étudiés (Variété x Eau x Stade) est non significative. Cela a montré que le changement de la conductivité électrique du sol dépend de la composition de l'eau utilisée pour l'irrigation, ainsi que le taux d'évapotranspiration élevé surtout en été.

Gharaibehet *al.*, (2016), ont montré que le taux élevé d'évapotranspiration entraîne une accumulation de sels dissous dans l'eau d'irrigation entraîne leur accumulation dans la zone racinaire. Urbano et *al.*, (2017) ont déclaré que la salinisation du sol peut se produire lors de l'irrigation avec des EUE et même avec des eaux douces ; mais la différence est que les EUE accélèrent le processus car elles ont généralement une salinité élevée. D'autres auteurs, ont montré que la salinité du sol a augmenté d'une manière significative avec le temps à un taux plus élevé sous l'irrigation par les EUE que par les eaux douces (Urbano et *al.*, 2015 ; Gharaibeh et *al.*, 2016 ; Ganjegunta et *al.*, 2017). L'augmentation de la conductivité

électrique et du SAR est probablement dû à une concentration plus élevée de solides totaux dissous et du sodium dans les EUE (Gharaibeh et *al.*, 2016).

5.3. Calcaire total CaCO_3

Les taux du calcaire total des différents échantillons du sol sont présentés dans la figure 22

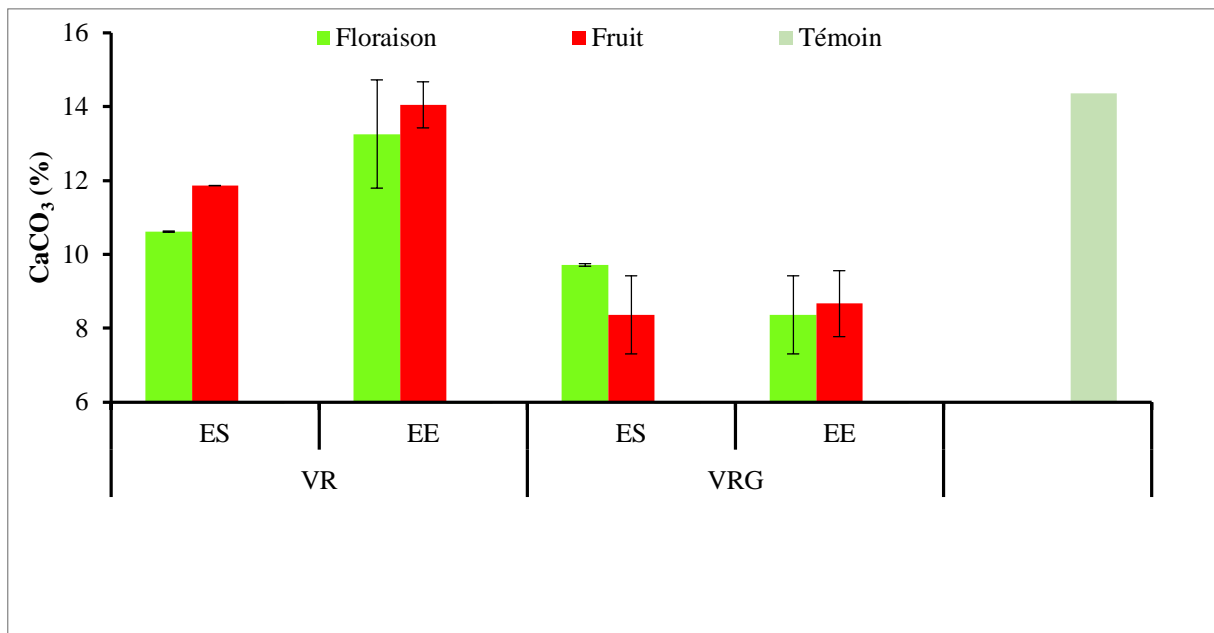


Figure 22. Evolution de CaCO_3 du sol au cours du cycle de la culture

Le taux de calcaire (CaCO_3 %) obtenu dans le sol varie de 8.4% à 14 %. D'après les normes d'interprétation, le sol est moyennement calcaire (Figure.24).

On note aussi que le taux de calcaire du sol irrigué par les ES est inférieur à celui du sol irrigué par les EUE avec respectivement 8,4% et 14,5%.

Le taux de calcaire du sol sous variétés Roma est significativement élevé comparativement au sol sous variétés Rio Grande, il est de 12,5 % et 8,8% respectivement. Ceci est peut être dû à la nature des exsudats racinaire des deux cultures.

L'analyse statistique a révélé que l'interaction des trois facteurs étudiés (Variété x Eau x Stade) est non significative et que la différence entre les valeurs des paramètres étudiés (pH, CE et CaCO_3) en fonction de la qualité de l'eau n'est pas significative aussi.

D'après les normes d'interprétations, le sol est moyennement calcaire (Figure 24).

Tableau n° 5. Test de Newman-Keuls

<i>Variété / eau</i>	MOYENNES GROUPES HOMOGENES				
	LIBELLES				
<i>1.0 2.0</i>	VR EE	13,659	A		
<i>1.0 1.0</i>	VR ES	11,242		B	
<i>2.0 1.0</i>	VRG ES	9,032			C
<i>2.0 2.0</i>	VRG EE	8,514			C

L'analyse statistique a révélé que l'interaction des trois facteurs étudiés (Variété X Eaux X Stade) est non significative ($p= 0,08$).

L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative entre les valeurs des paramètres étudiés (pH, CE et CaCO_3) en fonction de la qualité de l'eau. Les paramètres physicochimiques des EUE étaient acceptables en termes d'irrigation des cultures selon la réglementation nationale et selon les directives de la FAO (Ayers et Westcot, 1985).

Conclusion

Dans l'optique d'une valorisation agricole des eaux usées traitées en Algérie, nous avons essayé de contribuer à l'étude de leurs impacts sur les paramètres chimiques du sol (pH, CE, calcaire) sol et sur les plantes cultivées. Nous avons utilisé deux qualités d'eau pour l'irrigation (EUE, ES) et deux variétés de la tomate industrielle (Roma Vf, Rio grande).

Les résultats obtenus ont montré une différence morphologique nette, notamment pour la couleur des plants. En effet, elle est foncée pour les plants irrigués avec les EUE et claire pour ceux qui sont irrigués avec les ES.

Le même constat a été marqué pour les paramètres agronomiques (la hauteur et le diamètre de la tige, le nombre de feuilles et de fruit), en effet ces paramètres sont significativement plus élevés chez les plants irrigués avec les EUE par rapport aux plants irrigués avec l'ES pour les deux variétés.

Les résultats de l'analyse chimique du sol indiquent que la CE du sol irrigué avec les EUE est plus importante par rapport à la CE du sol irrigué avec l'ES.

On note aussi une diminution du taux de calcaire du sol après l'irrigation avec les EUE par rapport aux taux initial.

Le pH de notre sol a tendance à devenir basique après irrigation avec l'ES et l'EUE, on a remarqué aussi que le pH des sols sous variété Rio grande, est significativement élevé que celui des sols sous la variété Roma Vf, Ceci est vérifié pour les deux qualités d'eau d'irrigation.

L'utilisation de ces eaux usées épurées permet aux agriculteurs de réaliser une économie de l'eau.

Références bibliographiques

- Abu- Zeid K.M., 1998.** Recent trends and developments: reuse of wastewater in agriculture. *Environmental Management and Health*, 9(2), 79-89.
- Ademe E.D.D., 2010.** Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France. P 429.
- Alikhasi M., Kouchakzadeh M., Baniani E., 2012.** The effect of treated municipal wastewater irrigation in non-agricultural soil on cotton plant, *J. Agric. Sci. Tech.*, 14 1357–1364. Al-
- Allouche F., Lamri D., et Zahf F., 1999.** Surveillance de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de contamination niveau des trois communes : Ali boussid, Saby, Ben Badis, wilaya de Sidi Bel Abbès, mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en biologie, Université de sidi bel Abbès.
- Amir S., 2005.** Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thèse de Doctorat. Institut National polytechnique de Toulouse. 309
- Ayers R.S., Westcot D.W., 1985.** Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29 (Rev. 1). Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy.
- Angelakis A N, Marecos Do Monte M H F, Bontoux L, Asano T, 1999.** The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin : need for guidelines. *Water Res* 33(10) : 2201–2217.
- Anjou., 2008.** Elimination de la matière organique dans les concentrats membranaires-, 69.
- Asano T., 1998.** Wastewaterre clamation and reuse. Water quality management library, CrcPress. (10). 1475.
- Baize D., 2000.** Guide des analyses en pédologie : choix-expression-présentation-interprétation. Institut National de la recherche Agronomique, 2e éd. Paris, (631.42 B3.), 266.
- Bassompierre C., 2007.** Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. Thèse de doctorat. Grenoble : Institut National Polytechnique, 232.
- Belghyti, D., El Guamri Y., Ztit G., Ouahidi M., Joti M., Harchrass A., ... & Bounouira, H., 2009.** Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en oeuvre d'un traitement adéquat : cas de Kénitra au Maroc. *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 5(2).
- Belgiorno V., Rizzo L., Fatta D., Della Rocca C., Lofranoa G., Nikolaou A., Naddeo V., Meric S., 2007.** Review on endocrine disrupting-emerging compounds in urban wastewater:

occurrence and removal by photocatalysis and ultrasonic irradiation for wastewater reuse. *Desalination*, 215 (1-3), 166–176.

Ben Said I., Mezghani I., Donyez F., Chaieb M., Muscolo A., 2017. Reclaimed municipal wastewater for forage production, *Wat. Sci. Techn.*, 75 (8) 1784–1793.

Bliefert C., Perraud R., 2001. Chimie de l'environnement air, eau, sols, déchets. Edition : De Boeck Supérieur. Bruxelles. 477.

Boeglin, J.C., 2002. Traitement physico-chimiques de la pollution insoluble technique d'ingénieur, *Environnement G. Paris*. 270.

Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M. P., & Coquet Y., 2005. Les pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales. Paris : Edition France Agricole, 637.

Cauchi H., Nakache S. D., Zagury B., Carré C., Denis D., Larbaigt D., Martigne S., 1996. Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. *Techniques, Sciences et Méthodes* 2, 81-118.

Ceretta M. B., Vieira Y., Wolski E. A., Foletto E. L., & Silvestri S., 2020. Biological degradation coupled to photocatalysis by ZnO/polypyrrole composite for the treatment of real textile waste water. *Journal of Water Process Engineering*, 35, 101-230.

Chéle F., Dellale M., Dewachter M., Mapakou F., Vermey L., 2005. L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurer *Office international de l'eau*, 15

Cherak L., 1999. Étude expérimentale de l'influence des eaux résiduaires (Batna, fedis, El-madher) sur certaines activités microbiennes (minéralisation du carbone et de l'azote) dans un sol calcaire de la région d'El-Madher (W.de Batna). Incidence sur les microflore telluriques et le comportement d'un e graminée fougère (*Avenaabla* "WL"-88). Thèse magister- institue d'agronomie. Université Batna, 108.

Chocat B., 1997. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et assainissement. Edition Tec & Doc Lavoisier, Paris, 1124.

Christou A., Maratheftis G., Eliadou E., Michael C., Hapeshi E., Fatta-Kassinou D., 2014. Impact assessment of the reuse of two discrete treated wastewaters for the irrigation of tomato crop on the soil geochemical properties, fruit safety and crop productivity, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 192 105–114.

Dadi E.M., 2010. L'évaluation de la Possibilité de Réutiliser en Agriculture L'effluent Traité de la Commune de Drarga, Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke, Québec, Canada.89

Dahou M., 2011. Valorisation de la biomasse à des fins énergétiques : production de biogaz à partir des boues de la station de lagunage de la ville d'Adrar, Mémoire De Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla.

Davies JN., et Hobson GE., 1981.The constituent of tomato fruit-the influence of Environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*

Dekhil-Soror W., Zaibet M., 2013. Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA. Mémoire de Master, université de Bordj Bou Arreridj.

Desmas S., 2005. Analyse comparative de compétitivité : le cas de la filière tomate Dans le contexte euro-méditerranéen. Thèse Ing. Agr., Inst. Agr. Méditerranéen. Montpellier. France

Dihang D., Aimar P., Kayem J., Koungou N.S., Dihang D., 2008. Coagulation and flocculation of laterite suspensions with low levels of aluminum chloride and polyacrylamids. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 47, Issues 9-10, 1509-1519.

Djemil W., Hannouche M., & Belksier M. S., 2018. Reuse of treated wastewater in agriculture : physicochemical quality and environmental risks. Case of wastewater treatment plant of Baraki and Beni Messous. Algeria. In *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, 020011(1), 1968.

Doloz, A., 2007. L'épuration des eaux usées par les filtres plantés de de fin d'étude, école nationale supérieure d'architecteur de Lyon, 26.

Dudek N.K., Sun C.L., Burstein D., Kantor R.S., Goltsman D.S.A., Bik E. M., & Relman D. A., 2017. Novel microbial diversity and functional potential in the marine mammal oral microbiome. *Current Biology*, 27(24), 3752-3762.

Duncan M., 2003. Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. UK.

Duquesne S., 1994. Pollution métallique et biomarqueurs : les métallothionéines : indicateurs biologiques de la contamination de l'environnement. *Analisis (Imprimé)*, France, 22(1), 20-23.

Edeline F., 1996. L'épuration physico-chimique des eaux. 3ème édition. Ed. CEBEDOC, Paris, 283.

Edwards R. A., & Rohwe F. 2005. Viral metagenomics. *Nature Reviews Microbiology*, 3(6), 504-510.

Faby J. A., 2003. L'irrigation Avec Des Eaux Usees Traitées, Manuel D'utilisation, Document technique FNDAE (Fonds Notionnels pour le Développement des Adductions d'Eau). Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Bureau Régional pour le Proche-Orient et Bureau sous régional pour l'Afrique du Nord.Hors- série (11).

FAO. 2003. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Etude de l'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation FAO irrigation and drainage papier.

FAO., 2014. Base de données statistiques de l'organisation de l'agriculture et de L'alimentation.

FAOSTAT., 2013. Base des données des statistiques de l'organisation des nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

Farhadkhani M., Nikaen M., Yadegarfar Gh., Hatamzadeh M., Pourmohammadbagher H., Sahbaei Z., Rahmani H. R., 2018. Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. Water Research, 144, 356-364.

Fredrickson J. K., Zachara J. M., Balkwill D.L., Kennedy D., Shu-Mei, W. L., Kostandarithes H. M., & Brockman F.J., 2004. Geomicrobiology of high-level nuclear waste-contaminated vadose sediments at the Hanford Site, Washington State. Applied and environmental microbiology, 70(7), 4230-4241.

Gaid A., 1984. Epuration biologique des eaux usées urbaines. Tome I, édition OPU, Alger, 261.

Gallais A., et Bannerot H., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivés

Objectif et critères de sélection. INRA, Paris **Ganjegunte G., Ulery A., Niu G., Wu Y., 2017.** Effects of treated municipal wastewater irrigation on soil properties, switchgrass biomass production and quality under arid climate. Industrial Crops and Products, 99, 60–69.

Gaujous D., 1995. La pollution des milieux aquatique : aide-mémoire. Edition technique et Documentation Lavoisier, 220.

Ghali S., 2008. Etude de la carbonisation d'un précurseur végétale, les noyaux d'olives, utilisation dans le traitement des eaux. Mémoire de magistère en chimie, Université du 20 août 1955 de Skikda, 11.

- Gharaibeh M.A., Ghezzehei T.A., Albalasmeh A.A., Ma'in Z.A., 2016.** Alteration of physical and chemical characteristics of clayey soils by irrigation with treated waste water. *Geoderma* 276, 33-40.
- Grosclaude G., 1999.** L'eau : tome I. Milieu naturel et maîtrise. Ed INRA, Paris.
- Guiraud J-P., 2012.** Microbiologie alimentaire, Paris : Dunod, 576.
- Guermoudi S., et Kaddour Z., 2010.** Caractérisations des eaux usées traitées par la station d'épuration d'Ain El Houtz. Identification préliminaire de quelque bactérie responsable de dysfonctionnement, mémoire d'ingénieur d'état en biologie, Université Abou bekr Belkaid _Tlemcen.
- Hajjami K., Ennaji M.M., Fouad S., Oubrim N., Cohen N., 2013.** Wastewater Reuse for Irrigation in Morocco : Helminth Eggs Contamination's Level of Irrigated Crops and Sanitary Risk (A Case Study of Settat and Soualem Regions). *J Bacteriol Parasitol*, 4:1.
- Hamilton A.J., Stagnitti F., Xiong X., Kreidl S.L., Benke K.K., Maher P., 2007.** Waste-water irrigation: the state of play. *Vadose Zone J.*, 6, 823–840.
- Hammadi B., & Abdelhafid B., A., 2017.** Lagunage Aéré en Zone Aride Performances Epuratoires, Paramètres Influent : Cas de la Région d'Ouargla, Chimie Analytique et Contrôle de l'Environnement, (Doctoral dissertation), L'Université KASDI Merbah-Ouargla, 12.
- Hamoda M.F., 2004.** Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. *Desalination*, 165, 31-41.
- Hamsa D., 2006.** Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation de l'essence forestière urbaine, mémoire de fin d'étude de Magistère en Ecologie et Environnement Université de Constantine.
- Hébert S., et Légré S., 2000.** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5.
- Henaut A., 2011.** Pollution de l'air et de l'eau. Les dossiers de science et politiques publiques, Rapport, 2.
- Hyaric R., 2009.** Caractérisation, traitement et valorisation des refus de dégrillage des stations d'épuration, Thèse de doctorat en sciences de l'environnement industriel et urbain, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 190.

- Jarde E., 2002.** Composition organique de boues résiduaires de station d'épuration lorraines : caractérisation moléculaires et effets de la biodégradation. Th. Doc. Université. Henri Poincaré. Nancy I en sciences de l'Univers. 286.
- Kiziloglu F.M., Turan M., Sahin U., Angin I., Anapali O., Okuroglu M., 2007.** Effects of wastewater irrigation on soil and cabbage-plant (*Brassica oleracea* var. capitata cv. Yalova-1) chemical properties. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170, 166–172.
- Kiziloglu F.M., Turan M., Sahin U., Kuslu Y., Dursun A., 2008.** Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. *Agric. Water Manage.* 95, 716–724.
- Ladjel F., 2006.** Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA-Boumerdes, 80.
- Larrose A., 2011.** Quantification et spatialisation de la contamination en éléments traces métalliques du système fluvio-estuarien girondin. Thèse de doctorat en géochimie et écotoxicologie, Université de Bordeaux 1.
- Laumonier r., 1979.** Culture légumière et maraichère. Tome 3 Ed Bailliere paris .279P.
- Lawrence C. M., Menon S., Eilers B. J., Bothner B., Khayat R., Douglas T., & Young M. J., 2009.** Structural and functional studies of archaeal viruses. *Journal of Biological Chemistry*, 284(19), 12599-12603.
- Legros N., 2017.** La réutilisation des eaux usées traitées en irrigation comme incubateur d'un processus de pérennisation et de bonne gouvernance des infrastructures d'assainissement : cas pratique de la station d'épuration de Tidili au Maroc. P 191.
- Mehaiguene M., Touhari F., & Rahmouni A., 2018.** Réutilisation des eaux usées épurées de la STEP d'Ain Defla à des fins agricoles. *Systèmes Agricoles et Environnement.* 2(1), 26-40.
- Metahri M.S., 2012.** Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou, thèse doctorat, spécialité : Agronomie, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 21- 23.
- Miquel M.G., 2001.** Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'Environnement et la santé. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Assemblée Nationale Française, Paris, (2979), 365.
- Mouchet P., 2000.** Traitement des eaux avant utilisation, Matières particulaire. Ed. Technique de l'ingénieur, traité environnement, 1173, 1- 19.

OMS. 2005. Etude Parasitologie médicale : technique de base pour le laboratoire, 119.

Orlofsky E., Bernstein N., Sacks M., Vonshak A., Benami M., Kundu A., Maki M., Smith W., Wuertz S., Shapiro K., Gillor O., 2016. Comparable levels of microbial contamination in soil and on tomatocrops after drip irrigation with treated wastewater or potable water. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 215, 140–150.

Polese J.M., 2007 : la culture de tomate. Ed SNP Lee fung. Chine

Rejsek F., 2002. Analyse des eaux ; aspect réglementaire et techniques, Tome I. Edition Scrérén CRDPA quitaine, Bordeaux. 71, 144-358.

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., & Radi L., 1996. L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ieme édition DUNOD. Paris, France, 557-570 et 968-1079.

Rotbardt A., 2011. Réutilisation des eaux usées traitées – perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. Agence Française de développement, rapport final, 91.

Rusan M. J. M., Hinnawi S., Rousan L., 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215(1-3) : 143-152.

Sahnoun M. E., 2015. Epuration des eaux usées du centre culturel islamique – Sidi Okba - par un filtre de macrophyte. Mémoire de Master en Hydraulique, option, Hydraulique Urbaine. Université Mohamed Khider. Bisekra.

Semaoune M., 2008. Etude comparative de l'aération par déstratification et de l'aération hypolimnique : application sur le HALL WIL en Suisse. Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Algérie.

Shaheen A.M., Fatma A., Rizk F.A., Elbassiony A.M., Al-Shal Z.S.A, 2007. Effect of ammonium sulphate and agricultural sulphur on the artichoke plant growth, heads yield and its some physical and chemical properties, *Res. J. Agric. Biol.Sci.*, 3 (2) 82–90.

Sibanda P.T., 2017. Evaluation de l'efficacité du traitement des eaux usées par le procédé des boues activées au niveau de la station d'épuration de la wilaya de réghaia, *Microbiologie et Toxicologie Alimentaire*, 3-4. Techniques et documentations, Paris, 1124.

Slimani R., 2003. Contribution à l'étude hygiénique les caractères physico-chimique des eaux usées de la cuvette d'Ouargla et leur impact sur la nappe phréatique. Mem. Ing. Eco et Eno. Ecosystème steppique et saharien. Uni d'Ouargla .85.

- Sou-Dakouré M. Y., Mermoud A., Yacouba H., Boivin P., 2013.** Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. *Geoderma*, 200–201, 31–39 (0).
- Tahinarisata S. U. 2017.** Étude de l'automatisation d'une unité de traitement d'eaux usées industrielles, mémoire de master. Université d'Antananarivo, 126.
- Thomas D., Sumberg J. E., 1995.** A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 54, 151-163.
- Urbano V.R., Mendonça T.G., Bastos R.G., Souza, C. F., 2015.** Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. *Rev. Ambient. Água.*, 10, 737–747.
- Urbano V.R., Mendonça T.G., Bastos R.G., Souza C.F., 2017.** Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agric. Water Manag.*, 181, 108-115.
- Uzma S., Azizullah A., Bibi R., Nabeela F., Muhammad U., Ali I., Rehman Z. Ur, Häder D., 2016.** Effects of industrial wastewater on growth and biomass production in commonly grown vegetables, *Environ. Monit. Assess.*, 188–328.
- Vandermeersch D., 2005.** Prosecuting International Crimes in Belgium. *Journal of International Criminal Justice*, 3(2), 400-421.
- Vandermeersch S., 2006.** Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes, en vue de l'obtention du grade académique de diplômé d'Etudes Spécialisées en gestion de l'environnement, Université libre de Bruxelles.
- Vergine P., Lonigro A., Salerno C., Rubino P., Berardi G., Pollice A., 2016.** Nutrient recovery and crop yield enhancement in irrigation with reclaimed wastewater: a case study, *Urban Wat. J.*, 14 (3) 325–330.
- Villagines R., 2000.** Eau, Environnement et santé publique. 2ème édition. Ed. TEC & DOC, Paris, 174.
- Vilagines R., 2003.** Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. 2è édition, Editions Tec&Doc, 198.
- Vogeler I., 2009.** Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. *Water Air Soil Pollut.* 196 (1–4), 385–392.

Résumé

Le présent travail a été effectué dans le but d'évaluer l'impact de l'irrigation par les eaux usées épurées sur la croissance de la tomate Roma et Rio grande et l'évolution de quelques paramètres chimiques du sol (pH, CE, Calcaire). L'essai a été mené à la station d'épuration des eaux usées de Boghni. Les résultats obtenus montrent que l'irrigation par l'eau usée épurée a un effet sur la croissance de la tomate plus que l'eau de source. Le sol à un pH basique par rapport au sol initial (neutre), non salé avec une augmentation de la CE du sol irrigué par l'eau usée épurée comparativement à la CE du sol irrigué par l'eau de source. Notre sol initial est moyennement calcaire, une diminution du taux de calcaire après deux mois d'irrigation a été constatée en sol irrigué par l'eau usée épurée. L'analyse statistique a révélé que l'interaction de trois facteurs (Variété x Eau x Stade végétatif) est non significative.

Mots clé : Eau usée épurée, traitement des eau, tomate industrielle, calcaire total, pH, CE.

ABSTRAT

The present work was carried out with the aim of evaluating the impact of irrigation with purified wastewater on the growth of Roma and Rio Grande tomatoes and the evolution of some chemical parameters of the soil (pH, EC, limestone). The trial was conducted at the Boghni wastewater treatment plant. The results obtained show that irrigation with purified wastewater has a greater effect on the growth of tomatoes than spring water. The soil has a basic pH compared to the initial soil (neutral), not salty with an increase of the EC of the soil irrigated with purified wastewater compared to the EC of the soil irrigated with spring water. Our initial soil is moderately calcareous, with a decrease in calcareous content after two months of irrigation in the purified wastewater irrigated soil. Statistical analysis revealed that the interaction of three factors (Variety x Water x Vegetative stage) was not significant.

Keywords : Purified wastewater, water treatment, Industrial tomato, Total limestone, pH, Electrical conductivity(CE).